This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Sci
108Q1
L0.8

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1891.

Digitized by Google

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS,
17423 Quai des Grands-Augustins, 55.

Digitized by Google

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE
PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

ANNÉE 1891.

PARIS,
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES, 44.

1891

Digitized by Google

Sci 1080.40.8

HARVARD COLLEGE
MAR 12 1921
LIBRARY

Degrand fund

Digitized by Google

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 16 JANVIER 1891.

PRÉSIDENCE DE M. MALLARD.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 décembre 1890 est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. CHABAUD (VICTOR), Constructeur d'instruments de précision à Paris.
LESOBRE, Professeur au Collège de Melun.
WYROUBOFF, Docteur ès Sciences à Paris.

M. le PRÉSIDENT déclare le scrutin ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Secrétaire général, du Vice-Secrétaire, du Trésorier archiviste, de deux Membres pour la Commission du *Bulletin* et pour le renouvellement partiel du Conseil.

M. le Secrétaire général annonce l'envoi d'une Note de M. *A. Bandsept* « *Sur la propagation du courant électrique* ».

M. POIRÉ donne lecture du Rapport de la Commission des comptes sur l'exercice 1890. Les comptes sont approuvés et des remerciements sont adressés à M. le Trésorier.

M. le PRÉSIDENT proclame le résultat du vote.

Sont élus :

Vice-Président : M. VIOLLE.
Secrétaire général : M. PELLAT.
Vice-Secrétaire : M. P. CURIE.
Trésorier archiviste : M. J. GAY.
Membres de la Commission du Bulletin : MM. BOUTY et FOUSSEREAU.

Digitized by Google

Sont élus Membres du Conseil pour une période de trois années :

Membres résidants.

MM. Brillouin, Maître de Conférences à l'Ecole Normale supérieure.
le commandant Defforges, détaché à l'Etat-Major général du Ministère de la Guerre.
Rivière, Professeur au Lycée Saint-Louis.
Vieille, Ingénieur des Poudres et Salpêtres, Répétiteur à l'Ecole Polytechnique.

Membres non résidants.

MM. Gouy, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
Hurion, Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.
Sarasin (E.), Docteur ès Sciences, à Genève (Suisse).
Teploff, Colonel du Génie Impérial russe à Saint-Pétersbourg (Russie).

M. Ad. Guebhard, agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, est élu pour l'année 1891, en remplacement de M. L. Soret, décédé.

M. Mallard, avant de quitter le fauteuil de la Présidence, rend compte des travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler, puis cède le fauteuil à M. Friedel, Président pour l'année 1891.

M. Guillaume rend compte de ses recherches sur la *sensibilité des thermomètres*. Soient u et U les températures à l'époque t d'un thermomètre et du milieu dans lequel il se trouve plongé. La température du thermomètre se rapprochera de celle de l'espace ambiant, et la variation sera donnée par

$$-\frac{du}{dt} = \lambda(u - \mathrm{U});$$

λ est la constante de sensibilité. On tire de là, pour U constant,

$$\log(u - \mathrm{U}) = \mathrm{A} - \mathrm{M}\lambda t,$$

A = constante, M module des logarithmes vulgaires.

Cette équation exprime la relation qui existe entre le temps et la température actuelle d'un thermomètre qui tend à se mettre en équilibre avec celle de l'espace environnant. Si l'on a déterminé un certain nombre de valeurs corrélatives de t et de $u - \mathrm{U}$, on peut en tirer la valeur la plus probable de λ. Cette constante étant connue pour un thermomètre quelconque placé dans des circonstances déterminées, la température variable de l'espace ambiant sera donnée en chaque instant, en fonction de la température observée, au moyen de la relation

$$\mathrm{U} = u + \frac{1}{\lambda}\frac{du}{dt}.$$

Digitized by Google

Les expériences de M. Guillaume conduisent aux valeurs suivantes :

Thermomètre de forme ordinaire dans l'eau tranquille...	$\frac{1}{\lambda} =$	$6^s,2$
» » » agitée.....		2,1
» » » l'air tranquille...		120
» » » agité.....		40
Thermomètre calorimétrique (20^{gr} de mercure), dans l'eau tranquille.....		9,5
Le même, dans l'eau agitée.....		4,0

Un thermomètre du premier type étant placé dans un bain agité, dont la température subit une variation sinusoïdale, n'indiquera que les $\frac{9}{10}$ de la variation, si la période de celle-ci est de 28 secondes; l'amplitude sera réduite à $\frac{1}{10}$ si la période est de $1^s,2$.

Dans une expérience calorimétrique de combustion, un thermomètre peut être, au début, de $0^\circ,2$ en retard sur le calorimètre. La température est sensiblement rejointe lorsqu'on atteint le maximum.

Les constantes, très différentes pour l'air tranquille et l'air agité, montrent, indépendamment des questions de rayonnement, l'avantage qu'il y a dans l'emploi de thermomètres-fronde. A ce propos, M. Guillaume présente à la Société un appareil imaginé par M. le Professeur Thury, de Genève, et nommé par lui *le cyclostat*. Cet appareil se compose de deux disques parallèles A et B tournant dans le même sens, B avec une vitesse double de A. A est percé en son centre, et contient un prisme rectangle isoscèle, dont les arêtes sont parallèles au plan du disque, et l'hypoténuse dirigée suivant l'axe de l'instrument; ce prisme, tournant avec le disque A, ramène dans une direction constante l'image du disque B. Si donc ce dernier porte un thermomètre, celui-ci sera vu dans une position constante, bien qu'animé d'un mouvement rapide.

Le cyclostat est susceptible de nombreuses applications : étude des déformations des corps soumis à la force centrifuge; détermination de la vitesse d'un axe inaccessible, etc.

Le problème des *colonnes émergentes* a été posé et étudié par divers physiciens, mais n'avait pas reçu jusqu'ici de solution parfaitement satisfaisante. Lorsqu'un thermomètre ne plonge qu'en partie dans un bain de température T, il faut appliquer, aux n degrés exposés à l'air, la correction

$$c = n\alpha(T - \tau),$$

α étant le coefficient de dilatation du mercure dans le verre $= 0,00016$, τ la température moyenne de la colonne émergente.

n, α, T sont connus, mais il est très difficile de déterminer τ. M Guillaume a étudié la répartition de la température dans une tige de verre en employant un thermomètre muni d'une ampoule; l'instrument étant d'abord plongé en entier dans un appareil à point 100, on le retirait de quantités croissantes. L'ampoule, fonctionnant comme un véritable réservoir,

Digitized by Google

donnait la température de la tige à une distance quelconque de l'appareil. Mais la formule déduite de ces expériences se rapporte à un cas particulier.

Pour pouvoir déterminer τ dans tous les cas, M. Guillaume a fait construire, par M. Tonnelot, des *tiges correctrices,* sorte de thermomètres sans réservoir que l'on place à côté du thermomètre et que l'on enfonce dans le bain, de telle sorte que le mercure se trouve au même niveau dans les deux instruments. La tige est graduée; la différence des lectures sur le thermomètre et sur la tige, multipliée par le rapport de la longueur du degré sur la tige et le thermomètre donne la correction qu'il faut ajouter à la lecture de celui-ci, pour que l'erreur de colonne émergente soit complètement éliminée. Les expériences faites par cette méthode montrent qu'elle est efficace.

M. Gernez donne un aperçu de ses recherches sur l'application de la mesure du pouvoir rotatoire à l'étude des combinaisons successives dont on peut manifester la production et la transformation dans les solutions d'acide malique auxquelles on ajoute des quantités graduellement croissantes de molybdates, de tungstates, de phosphomolybdates.

1° *Molybdates neutres.* Avec le molybdate de soude, pour des quantités croissantes de sel, la rotation initiale $-0°12'$ augmente jusqu'à $-9°4'$, valeur qu'elle atteint lorsqu'on a ajouté un équivalent de sel. Pour des quantités plus grandes la rotation rétrograde devient positive et atteint $+14°,1$ lorsqu'il y a dans le liquide 2 équivalents de sel. De nouvelles additions font rétrograder la rotation qui atteint un nouveau maximum négatif de $-1°,33$ correspondant à $3^{éq},5$; si l'on continue à ajouter du sel la rotation rétrograde de nouveau, change de signe et atteint des valeurs graduellement croissantes, $+10°,15$ pour 8 équivalents. Ces faits indiquent la production de combinaisons successives de 1 équivalent d'acide malique avec $1^{éq}$, $2^{éq}$, $3^{éq}$, 5 et plus de 8 équivalents de molybdate neutre de soude.

Avec le molybdate double de soude et potasse $KO, 2NaO, 3MoO^3$, on obtient des résultats tout à fait semblables, indiquant la formation de combinaisons successives entre 1 équivalent d'acide malique et $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ et $\frac{3,5}{3}$ d'équivalent du sel double, lequel peut être considéré comme trois fois le sel simple de soude.

Les molybdates neutres de lithine $LiOMoO^3$ et de magnésie $MgOMoO^3$ donnent lieu à des résultats très peu différents des précédents; les combinaisons dont on peut suivre la production contiennent pour un équivalent d'acide malique 1, 2, 2,5 et 4 équivalents de ces sels. Quant aux valeurs absolues des rotations, elles sont du même ordre de grandeur.

2° *Molybdates acides.* M. Gernez a donné antérieurement les résultats de ses expériences sur le molybdate acide d'ammoniaque; ceux que présente le molybdate acide de soude, de même formule $3NaO, 7MoO^3$, sont tout à fait analogues. Ainsi, la rotation initiale de $-0°,12$ atteint pour $\frac{1}{9}$ d'équivalent du sel un maximum de $-5°,27$ (26 fois la rotation initiale); pour des additions plus grandes, la rotation rétrograde, change de signe, aug-

Digitized by Google

mente considérablement et atteint la valeur maxima de $+78^{\circ}14'$ ou 374 fois la rotation initiale.

3° *Tungstates neutres alcalins.* Ces sels donnent lieu à des combinaisons analogues à celles que l'on obtient avec les molybdates neutres avec un peu moins d'amplitude dans les variations de la rotation. Il y a combinaison entre 1 équivalent d'acide malique et 1, 2, 2,5 équivalents de tungstate de soude et 1, 2, 3 équivalents de tungstate de potasse.

4° *Phosphomolybdates blancs.* Ces composés peuvent être étudiés comme les précédents et donnent lieu à des particularités de même ordre. Avec le phosphomolybdate de soude $3NaO, PhO^5, 5MoO^3$ la rotation initiale de $-0^{\circ}11'$ atteint la valeur $-6^{\circ}39'$ pour $\frac{1}{4}$ d'équivalent du sel; la rotation rétrograde ensuite, devient positive, atteint un nouveau maximum $+6^{\circ}20$ pour 1,5 équivalent du sel, elle rétrograde ensuite pour des additions ultérieures. Avec le sel d'ammoniaque de même formule on peut suivre des combinaisons semblables de 1 équivalent d'acide malique avec $\frac{1}{4}$ et 1,5 équivalent du sel, présentant des rotations très peu différentes des précédentes. Le sel de potasse $3KO, PhO^5, 5MoO^3$ donne une combinaison entre 1 équivalent d'acide malique et $\frac{1}{2}$ équivalent de sel.

M. Gernez indique les applications que l'on peut faire de cette méthode d'investigation à l'étude des équilibres temporaires et des modifications que les corps actifs peuvent éprouver sous des influences diverses.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES

SUR L'EXERCICE 1890.

La Commission, après s'être fait présenter les pièces de comptabilité et avoir vérifié l'état de la Caisse, a pu, d'après les renseignements et les documents fournis par M. le Trésorier, établir ainsi qu'il suit la situation financière de la Société :

Recettes.

	fr
En caisse à l'ouverture de l'exercice (1er janvier 1890).....	1345,50
Produits des cotisations.....	7474,25
Droits d'entrée.....	150,00
Souscriptions perpétuelles.....	1192,35
Intérêts du capital placé.....	1443,00
Produits de la vente des publications de la Société.....	764,30
Dons.....	242,50
TOTAL DES RECETTES.....	12611,90

Digitized by Google

Dépenses.

	fr
Loyer du siège social	600,00
Supplément de loyer pour la location de la grande salle	100,00
Traitement de l'agent de la Société	1800,00
Abonnements aux journaux scientifiques et reliure	504,10
Bibliothèque circulante	77,40
Frais de bureau; frais divers; étrennes	340,65
Recouvrement des cotisations	185,35
Frais d'expériences pour les séances	185,90
Gravure pour le *Bulletin*	183,10
Distribution du *Bulletin*	396,05
Achat de livres	18,00
Versé en compte à M. Gauthier-Villars	7630,10
Séance de Pâques	388,45
Traductions	18,00
Divers	39,55
TOTAL DES DÉPENSES	12466,65
Excès des recettes sur les dépenses (reste en caisse au 1er janvier 1891)	145,25

Détails des Comptes relatifs à nos publications.

Note de brochage du *Bulletin* de nos séances de 1880 à 1887. (Ce brochage n'avait jamais été compté dans les factures antérieures.)	633,60
Impressions, tirage, brochage du *Bulletin* de nos séances :	
Mai à décembre 1888	1784,65
Janvier à avril 1889 (1er fascicule)	758,85
Mai à novembre 1889 (2e fascicule)	692,60
Circulaires et impressions diverses de l'année 1889	152,00
Ordres du jour des séances du 16 novembre 1888 au 19 juillet 1889.	1250,17
Bulletin des séances de la Société, 3e fascicule de 1889, 1er fascicule de 1890 et impressions diverses pour l'année 1890	2117,20
Ordres du jour des séances novembre 1889 au 15 juillet 1890. (Le mémoire présenté s'élève à 1300fr,69 sur lequel il a été versé en compte	241,03
TOTAL DES COMPTES RELATIFS AUX PUBLICATIONS	7630,10

Digitized by Google

Situation.

Actif.

	fr
70 obligations nominatives des chemins de fer du Midi (anciennes), (certificats nos 91729, 110337 et 118297) achetées 253o1fr,5o. Valeur au cours de clôture du 31 décembre 1890	30940,00
3 obligations au porteur des chemins de fer du Midi (anciennes), (nos 185901, 185902, 185903) achetées 1182fr,35. Valeur au cours de clôture du 31 décembre 1890	1326,00
19 obligations au porteur des chemins de fer du Midi (nouvelles), (nos 21093 à 21098, 151523 à 151526, 163843 à 163848 et 344141 à 344143) achetées 7692fr,65. Valeur au cours de clôture du 31 décembre 1890	8398,00
10 obligations des chemins de fer de l'Est (nouvelles) au porteur, nos 267609, 267615, 283433, 283434 et 508112, achetées 3997fr,5o. Valeur au cours de clôture du 31 décembre 1890	4360,00
TOTAL	45024,00
Actif immédiatement réalisable	45024,00

Volumes restant en dépôt chez MM. Gauthier-Villars et fils :

			fr
Coulomb	693 volumes	à 6fr le volume environ.	19404,00
Ampère I	762 »		
Ampère II	361 »		
Pendule I	918 »		
	3234		

Cotisations à recouvrer, évaluées approximativement à	900,00
TOTAL	20304,00
Actif non immédiatement réalisable	20304,00

Passif.

Les dettes de la Société se déduisent au solde de son compte avec MM. Gauthier-Villars et fils. Il reste à payer :

	fr
1° Sur le mémoire déjà cité	1059,65
2° Un mémoire de distribution et d'expédition du volume : Pendule I	245,00
TOTAL DES MÉMOIRES DUS	1304,65

Nous devons ajouter, pour mémoire, que la Société doit en plus à MM. Gauthier-Villars et fils pour le Volume II relatif au pendule une somme qu'il est impossible de chiffrer exactement, puisque l'impression de ce Volume n'est pas encore achevée.

Digitized by Google

Statistique.

La Société comptait, au 1er janvier 1890, 733 membres	733
Elle s'est accrue cette année de 35 membres nouveaux.....	35
	768
Mais il faut retrancher de ce nombre :	
Membres décédés.....	7
Démissionnaires ou ayant cessé de payer la cotisation	20
	27

Restent 741 membres au 1er janvier 1891 (1); parmi eux les souscripteurs perpétuels sont au nombre de 147 :

			fr		fr
127	ayant versé.....		200,	soit.....	25400,00
9	»	.....	150,	»	1350,00
7	»	.....	100,	»	700,00
4	»	.....	50,	»	200,00
	TOTAL DES VERSEMENTS DES SOUSCRIPTEURS PERPÉTUELS..				27650,00

Résumé.

Si l'on défalque de l'actif immédiatement disponible 45024fr le montant des Souscriptions perpétuelles, inaliénables d'après les Statuts sociaux, et qui s'élèvent au 31 décembre 1890 à 27650fr, plus une somme de 15000fr provenant de la générosité des bienfaiteurs de la Société et réservée à un emploi défini et spécial, savoir :

10000fr à l'amélioration de la Bibliothèque de la Société.
5000fr à la publication du Volume des constantes.

En tout, somme à défalquer de l'actif disponible 42650fr
Il reste une somme de 2374fr
qui, ajoutée à la valeur des Volumes déposés chez MM. Gauthier-Villars et fils et à celle des cotisations à recouvrer met la Société au-dessus de ses affaires.

La situation est donc satisfaisante et votre Commission vous propose d'approuver les comptes des recettes et dépenses qui lui ont été soumis par votre Trésorier et dont elle a reconnu la parfaite exactitude.

Paris, le 15 janvier 1891.

Les Membres de la Commission,

A. MADAMET, P. POIRÉ, Bon THENARD.

---

(1)

Membres habitant	Paris	381
» »	les départements. ..	231
» »	l'étranger	129
		741

Digitized by Google

ALLOCUTION

PRONONCÉE DANS LA SÉANCE DU 16 JANVIER 1891

PAR M. MALLARD,

Président sortant de la Société française de Physique.

MES CHERS CONFRÈRES,

J'ai tout d'abord le triste devoir de vous rappeler les pertes que nous avons faites pendant l'année écoulée. Dès les premiers jours de janvier mourait un savant illustre, Hirn, dont nous venions à peine de faire un de nos membres honoraires; M. Mascart a rendu à sa mémoire un éloquent hommage. Nous avons eu ensuite successivement à déplorer les pertes de Strumbo, professeur à l'Université d'Athènes; du savant professeur de Genève, Louis Soret, qui fut membre de notre Conseil; de Napoli, l'un de nos plus anciens et plus sympathiques confrères; de Coulier, l'un des fondateurs de la Société, que le Conseil avait compté parmi ses membres; de l'abbé Lalande; enfin, il y a quelques jours, d'Isambert, mort à 54 ans, après d'importants travaux dont l'Académie des Sciences n'a pu déposer la récompense que sur la tombe.

Les vides que fait chaque année parmi nous la loi inexorable continuent à être remplis par de nouveaux adhérents. La Société, qui comptait 733 membres au 1er janvier 1890, en compte aujourd'hui 741. L'accroissement est faible, et il ne porte que sur les membres des départements et de l'étranger, car le nombre des membres de Paris a diminué de 11. Il n'y a lieu de concevoir aucune inquiétude sur l'avenir; il est cependant permis d'espérer que, l'année prochaine, mon successeur pourra constater, dans le nombre de nos confrères, une augmentation plus satisfaisante.

Digitized by Google

Les travaux scientifiques qui ont été exposés devant nous dans le cours de l'année ne sont inférieurs ni en nombre ni en importance à ceux des années précédentes. Trente-neuf communications vous ont été faites : 18 sur l'électricité, 10 sur l'Optique, 5 sur la chaleur, 6 sur les propriétés générales des corps. Comme toujours, depuis quelque temps, l'électricité tient le premier rang. Les raisons en sont trop évidentes et trop claires pour qu'il y ait lieu de s'en étonner.

La collection des Mémoires publiés par la Société s'est enrichie cette année d'un cinquième Volume. Il forme le Tome II des Mémoires sur le pendule. Comme le Tome I, il a été publié par les soins de notre éminent confrère, M. Wolf, qui a rendu un très grand service à la Science et à la Société.

Ainsi s'accroît chaque année cette publication importante, qui est pour notre Société un titre d'honneur et qui contribue d'une manière si effective aux progrès de la Physique, en rendant facile l'étude, toujours si fructueuse et si suggestive, des Mémoires originaux.

La publication des Volumes sur les *Constantes de la Physique* n'a pu encore être commencée. N'accusez pas cependant de négligence nos zélés confrères qui ont bien voulu assumer cette tâche ingrate et difficile. Je puis vous donner l'assurance que, grâce à leur dévouement, l'œuvre se poursuit régulièrement et qu'elle est même, sur certains points, très avancée. Il est permis d'espérer que mon successeur sera assez heureux pour vous annoncer, l'an prochain à pareille date, que l'impression est en cours.

En prenant connaissance des propositions qu'avec votre autorisation le Conseil vous soumet chaque année pour les élections du Bureau, vous avez été certainement surpris qu'on ne vous proposât pas, comme les années précédentes, de réélire le Secrétaire général et le Trésorier en exercice. C'est sur leur désir formellement exprimé et à son très vif regret que le Conseil s'est résigné à prendre cette détermination.

Au commencement de 1881, il y a juste dix ans, la Société venait de perdre son premier Secrétaire général, d'Almeida. Elle était très jeune encore et une perte aussi grande et aussi inattendue pouvait lui faire courir bien des risques. A ce moment M. Joubert consentit à assumer la lourde fonction devenue vacante. Toutes

Digitized by Google

les crainte qu'on avait pu concevoir sur l'avenir et la prospérité de la Société furent bien vite dissipées et le progrès continu fait depuis cette époque peut se mesurer par ce fait que le nombre des membres, qui n'était au commencement de 1881 que de 543, atteint aujourd'hui 741.

Mais vous savez tous, messieurs, quel zèle, quel dévouement, M. Joubert a mis chaque jour, durant ces dix années, au service de la Société.

Si nos séances n'ont jamais chômé, si les communications intéressantes s'y sont succédé sans lacune, c'est que, toujours en éveil, notre Secrétaire général, profitant de sa connaissance approfondie de toutes les parties de la Science et de la sympathie universelle qui l'entoure, visitait les laboratoires, se tenait au courant des travaux entrepris et savait provoquer les communications lorsqu'il les jugeait suffisamment préparées.

Si nos séances de Pâques ont toujours été instructives et variées, c'est que M. Joubert s'est toujours appliqué à attirer les expositions intéressantes, à décourager les autres, à veiller à ce que tout fût disposé de manière à faciliter la réalisation des expériences répétées devant les visiteurs.

La part qui revient à M. Joubert dans notre prospérité actuelle est donc considérable.

Mais le rôle de Secrétaire général, ainsi compris, ne peut être rempli sans travail ni sans fatigue. Après dix années accomplies, M. Joubert a manifesté le désir d'en être déchargé, malgré les vives et unanimes instances du Conseil tout entier. La Société a pris d'ailleurs à M. Joubert, pendant si longtemps, une si grande partie de son temps et de son activité, que c'eût été de l'indiscrétion et presque de l'ingratitude de pousser l'insistance trop loin et de lui demander encore davantage lorsqu'il avait tant donné.

M. Joubert n'est heureusement perdu ni pour la Science ni pour notre Société; il rendra encore à l'une et à l'autre de signalés services.

Les fonctions de Trésorier sont toujours des plus importantes; lorsqu'elles ne sont pas remplies avec zèle, les sociétés périclitent. Ce sont d'ailleurs des fonctions ingrates, qui prennent beaucoup de temps. Pour les accepter, il faut un véritable dévouement aux

Digitized by Google

intérêts sociaux; c'est précisément cette considération qui avait décidé M. Maurat à s'en charger. Depuis 1883, il a rempli ces fonctions avec un zèle qui ne s'est jamais démenti et dont la Société a largement profité. Il désire aujourd'hui déposer le fardeau qu'il a porté si longtemps et avec tant de bonne grâce. Malgré ses vifs regrets, le Conseil a dû s'incliner devant un désir si légitime.

Il ne peut qu'exprimer à M. Maurat, comme à M. Joubert, toute la reconnaissance que nous lui gardons. Lorsqu'on s'étonne de la prospérité de notre Société, des publications coûteuses auxquelles elle fait face avec de faibles ressources, il ne faut pas oublier qu'un aussi beau résultat est rendu possible non seulement par des dons généreux qui viennent de temps à autre remplir notre caisse vide, mais encore par le dévouement de savants qui, comme M. Joubert et M. Maurat, prodiguent à la Société, avec un désintéressement absolu, leur temps et leur activité.

Votre Conseil a pensé que vous lui sauriez gré de vous donner un moyen d'offrir à nos deux chers Confrères un faible, mais bien sincère témoignage de notre vive et sympathique reconnaissance pour les services rendus. Il vous propose de donner à M. Joubert le titre de Secrétaire général honoraire, à M. Maurat celui de Trésorier honoraire.

En présence des acclamations unanimes, il n'y a point besoin de passer au vote, et je suis heureux, avant de résigner mes fonctions, de proclamer M. Joubert Secrétaire général honoraire, et M. Maurat Trésorier honoraire de la Société française de Physique.

Je n'ai plus qu'un mot à ajouter, mes chers Confrères. C'est un honneur inoubliable que d'avoir présidé pendant une année une Société qui compte parmi ses membres tant de savants éminents. Je sais que je dois surtout cet honneur à l'esprit large avec lequel vous envisagez la Physique et au désir que vous avez eu de bien marquer qu'on n'en pouvait exclure la Science des cristaux et des minéraux. Je ne vous en garde pas moins une profonde reconnaissance et je tiens à vous l'exprimer avant d'inviter M. Friedel à me remplacer au fauteuil.

Digitized by Google

Le problème de la colonne émergente;

PAR M. CH.-ÉD. GUILLAUME.

Dans la mesure d'une température à l'aide du thermomètre à mercure, il faut, autant que possible, que l'instrument soit soumis au moins jusqu'au niveau du ménisque, à la température que l'on veut mesurer. Lorsque la disposition des expériences ne permet pas de remplir cette condition, il faut appliquer, à la *colonne émergente,* une correction qui la ramène à la température du réservoir. Cette correction peut être très considérable; en effet, pour des températures comprises entre 300° et 350°, telles que les chimistes en mesurent journellement, elle atteint parfois 15 à 20 degrés; il y a donc intérêt à la connaître avec une certaine exactitude relative, même pour des mesures de moyenne précision.

L'expression théorique de cette correction est

$$c = n\alpha(T - \tau);$$

n étant le nombre de degrés non soumis à la température du réservoir;

α le coefficient de la dilatation relative du mercure dans le verre (0,00015 à 0,00016);

T la température de l'étuve ou du bain;

τ la température moyenne de la colonne, c'est-à-dire la quantité $\frac{1}{n}\int_0^n t\,dx$, où $t = f(x)$ représente la température au point d'abscisse x.

n est facile à observer; α est connu pour les verres usuels; T est la température *cherchée;* mais on peut, en première approximation lui substituer la température directement observée T′ et calculer, au besoin, une seconde approximation à l'aide de la température corrigée une première fois. Mais toute la difficulté du problème réside dans la détermination de τ, ou, plus généralement, de t. Plusieurs solutions approchées ont été cherchées dans des formules empiriques.

Regnault (1847) et, à son exemple, M. Kopp, substituaient à τ la température τ' indiquée par un petit thermomètre placé dans le

Digitized by Google

voisinage de la colonne émergente; mais la correction ainsi calculée est trop forte, puisqu'il n'est pas tenu compte de la conductibilité de la tige. En 1868, Mousson montra que l'on obtient, dans bien des cas, une valeur à peu près correcte, en retranchant une quantité constante de la tige émergente. A la même époque, M. Wüllner se servit d'une formule analogue, dont il détermina les constantes en étudiant la répartition de la température dans un tube de verre de $1^{cm},5$ de diamètre rempli de mercure; il est clair que ces constantes conviennent mal au cas du thermomètre.

D'autres physiciens, entre autres M. Holtzmann et M. Thorpe (1880) remplacèrent α par un nombre plus petit (0,000135 ou 0,000143). M. Mills (1881) donna une formule de second degré. Enfin M. Thiesen, plaçant de petits thermomètres dans des tubes identiques aux enveloppes ou chemises des thermomètres (de forme allemande) dont il se servait, déterminait la fonction f par points. Je mentionnerai encore des tables de correction à double entrée (n et $T - \tau'$) publiées dernièrement par M. Rimbach.

Au début de mes recherches sur cette question, j'observais un thermomètre de grandes dimensions dans l'appareil à point 100 précédemment décrit [1]. En pratiquant la fermeture au moyen d'une lame de caoutchouc traversée par le thermomètre, et tendue sur un opercule, je pouvais déterminer très exactement la portion du thermomètre qui n'était pas soumise à la vapeur d'eau. Les résultats de mesures faites avec des colonnes atteignant 50° étaient très bien représentés par une formule dans laquelle on substituait à n et à α des nombres plus petits, tandis que τ était remplacé par la température ambiante. Un essai de détermination expérimentale de la fonction f m'a donné de bons résultats; j'employais, dans ce but, un thermomètre muni d'une ampoule, véritable réservoir soufflé sur la tige, et qui indiquait la température de celle-ci à une distance quelconque de l'appareil. Ces deux groupes d'expériences ont confirmé ce fait aisé à prévoir, que les circonstances accessoires, impossibles à définir, modifient sensiblement les résultats, et qu'on ne peut pas établir de formules convenant à tous les cas; elles ont montré de plus que l'on ne commet aucune erreur appré-

---

[1] Séance du 13 décembre 1886.

Digitized by Google

ciable dans la détermination du point 100 du thermomètre lorsqu'on ne laisse émerger l'instrument que de la quantité strictement nécessaire à la lecture. Cela n'est vrai, bien entendu, que pour des thermomètres à tige (sans enveloppe ou chemise), et à la condition qu'une très petite longueur soit enfermée dans l'obturateur (bouchon de liège évidé ou lame de caoutchouc).

Pour arriver à une solution générale du problème, j'ai abandonné la recherche de toute formule, et j'ai cherché à déterminer directement la quantité c par une observation; voici comment j'y suis parvenu.

Solution pratique. — Considérons une tige cylindrique contenant du mercure, autrement dit, un thermomètre dont on aurait coupé le réservoir. Cette tige, plongeant dans un bain par sa partie inférieure, se trouvera identiquement dans les mêmes conditions que la tige d'un thermomètre émergeant de la même quantité; si donc elle a été graduée d'avance dans la supposition qu'elle plonge en entier dans le bain, en d'autres termes, si l'on a déterminé de la manière ordinaire ses points 0 et 100, et si l'on a divisé leur intervalle en degrés [1], la différence entre la lecture actuelle et celle qui correspond à la température du bain donne directement la correction de la partie émergente.

Supposons donc un thermomètre et une tige dite *correctrice* plongeant côte à côte dans un bain et émergeant de la même quantité. Le thermomètre indiquera la température approximative du bain; le déficit entre cette température reportée sur la tige correctrice et celle qui est indiquée sur cette dernière devra être ajouté, en longueur absolue, à la lecture du thermomètre; en d'autres termes, *la correction est donnée par la différence de lecture du thermomètre et de la tige, multipliée par le rapport de la longueur du degré sur la tige du thermomètre;* le calcul peut être fait en deux approximations.

Il restait à montrer que cette solution est efficace; dans ce but, j'ai fait exécuter quelques tiges correctrices par M. Tonnelot, l'ar-

---

[1] En réalité, la distance [0-100] est comprise entre 3^{mm} et 10^{mm} pour toutes les tiges de grandeurs usuelles, et les traits ne sont marqués que de 5° en 5°, de 10° en 10° ou de 20° en 20°.

Digitized by Google

tiste bien connu, et j'ai entrepris deux séries d'expériences. Dans la première (mesures très précises avec une faible correction), je plaçais un thermomètre dans une auge horizontale remplie d'eau, tandis qu'un autre thermomètre, accompagné de sa tige correctrice, était suspendu de telle manière que son réservoir et quelques degrés seulement fussent plongés dans le liquide; j'ai fait ainsi, avec l'aide de M. L. Ozenne, quelques comparaisons entre ces deux instruments. Dans la seconde série d'expériences, exécutées dans le laboratoire de M. G. Vogt, à la Manufacture nationale de Sèvres (correction atteignant 14 degrés avec une précision moindre), un thermomètre était fixé dans le col d'un ballon de verre, dans lequel on faisait distiller de la méthyldiphénylamine brute; on a fait quatre expériences : 1° le thermomètre est entièrement contenu dans le col du ballon; 2° le thermomètre est engagé seulement par une tubulure latérale; 3° le thermomètre est replacé dans le col du ballon qui avait été coupé à mi-longueur; 4° répétition de la première expérience. Dans les expériences 2 et 3, le thermomètre était accompagné de sa tige correctrice. Au cours de cette opération, la température du liquide s'est élevée peu à peu, et doit être interpolée entre les expériences 1 et 4. Toutes les lectures de cette série ont été contrôlées par M. Vogt.

Première série (comparaisons).

Thermomètre vertical.	Correction donnée par la tige correctrice.	Lecture corrigée.	Thermomètre horizontal.	Différence V — H.	Nombre de degrés émergents.	Température ambiante.
25°,663	+0°,070	25°,733	25°,741	—0°,008	26°,4	7°,8
37,587	0,181	37,768	37,762	+0,006	38,3	7,1
46,194	0,270	46,464	46,450	+0,014	45,7	8,1
47,208	0,272	47,480	47,478	+0,002	46,7	9,4

Deuxième série (distillation).

Thermomètre.	Correction donnée par la tige correctrice.	Lecture corrigée.	Nombre de degrés émergents.	Température ambiante.
302°,4	»	302°,4	»	»
288,5	14,3	302,8	278	11,3
295,2	10,0	305,2	160	12,4
306,6	»	306,6	»	»

Digitized by Google

Il est juste de mentionner ici une revendication de priorité faite par M. Renou, après que les tiges correctrices avaient été présentées à l'Académie des Sciences. Depuis plus de vingt ans, l'éminent météorologiste emploie, sur le conseil de H. Sainte-Claire Deville, de longues tiges de verre remplies de mercure, pour la correction des géothermomètres du parc Saint-Maur; le procédé de M. Renou est évidemment identique en principe à celui que je propose; mais il est fort regrettable qu'il soit demeuré inconnu, et qu'il n'ait pas été appliqué dans les laboratoires de recherches. On eût pu éviter de longs tâtonnements, et rectifier en temps utile des températures fixes qui, faute d'un procédé simple et exact de correction, sont demeurées erronées.

Recherches sur l'application de la mesure du pouvoir rotatoire à la détermination de combinaisons formées par les solutions aqueuses d'acide malique avec les molybdates neutres de lithine, de magnésie, de soude et de potasse, acide de soude et les tungstates neutres alcalins; par M. D. Gernez.

J'ai fait connaître antérieurement (1) les expériences que j'ai effectuées sur l'action qu'exerce l'acide malique en solution aqueuse sur deux molybdates alcalins, l'un, le molybdate neutre de soude, l'autre, le molybdate acide d'ammoniaque : en utilisant les changements extraordinaires que produisent ces sels sur le pouvoir rotatoire des acides actifs, j'ai pu mettre en évidence la formation au sein des dissolutions de composés produits entre des nombres simples d'équivalents de sel et d'acide, composés qui se transforment en d'autres quand les proportions des corps en contact viennent à changer et que l'on manifeste par un procédé qui ne peut modifier en rien l'équilibre des systèmes. J'ai complété ces recherches par l'étude de plusieurs sels dont la composition se rattache aux deux types déjà étudiés et vais indiquer les résultats de ces expériences.

(1) *Séances de la Société française de Physique*, année 1890, p. 17.

Digitized by Google

Les solutions employées contenaient toutes $1^{gr},1166$ d'acide malique avec des poids de sel croissant d'une expérience à la suivante par fractions égales d'équivalent et la quantité d'eau distillée nécessaire pour amener le volume total à occuper 12^{cc}. Elles étaient introduites dans un tube dont la longueur était $105^{mm},7$ et l'on mesurait les rotations par rapport à la lumière du sodium avec le polarimètre de M. Laurent.

I. Molybdates neutres. — Les résultats obtenus avec les molybdates neutres de lithine et de magnésie sont contenus dans le Tableau suivant :

Fractions d'équivalent de sel employé, en $\frac{1}{12}$ d'équivalent.	Molybdate de lithine.		Molybdate de magnésie.	
	Rotations observées.	Variations par $\frac{1}{12}$ d'équivalent.	Rotations observées.	Variations par $\frac{1}{12}$ d'équivalent.
	° ′	′	° ′	′
0 ...	— 0.11	00	— 0.11	00
1 ...	— 1. 7	56	— 1. 6	55
2 ...	— 2. 2	55	— 1.59	55
3 ...	— 2.56	54	— 2.51	52
4 ...	— 3.47	51	— 3.44	53
5 ...	— 4.37	50	— 4.36	52
6 ...	— 5.27	50	— 5.26	50
7 ...	— 6.17	50	— 6.16	50
8 ...	— 7. 8	51	— 7. 8	52
9 ...	— 8. 0	52	— 7.54	46
10 ...	— 8.51	51	— 8.39	45
11 ...	— 9.40	49	— 9.24	45
12 ...	—10. 8	— 28	— 9.40	— 16
13 . .	— 9.25	+ 43	— 8.50	+ 50
14 ...	— 8. 0	85	— 7.40	70
15 ...	— 6.10	110	— 5.40	120
16 ...	— 4.30	100	— 3.43	117
17 ...	— 2.40	110	— 1.27	136
18 ...	— 0.35	125	+ 0.55	142
19 ...	+ 1. 7	102	+ 3.13	138
20 ...	+ 3.27	140	+ 5.19	126
21 ...	+ 5.22	115	+ 7.38	139
22 ...	+ 7.21	119	+ 9.45	127
23 ...	+ 9.30	129	+11.55	130
24 ...	+11.22	112	+14.10	135
25 ...	+13.11	109	+16.28	138

Digitized by Google

Fractions d'équivalent de sel employé, en $\frac{1}{12}$ d'équivalent.	Molybdate de lithine. Rotations observées.	Molybdate de lithine. Variations par $\frac{1}{12}$ d'équivalent.	Molybdate de magnésie. Rotations observées.	Molybdate de magnésie. Variations par $\frac{1}{12}$ d'équivalent.
26 ...	+14°.56′	105′	+17°.40′	72′
27 ...	+15.36	+ 40	+18.14	+ 34
28 ...	+15.30	— 6	+17.28	— 46
29 ...	+14.32	58	+16.24	64
30 ...	+13.23	69	+14.50	94
33 ...	+ 8.37	95	+ 9.55	98
36 ...	+ 4.28	83	+ 6. 4	77
39 ...	+ 1. 9	66	+ 3. 2	61
42 ...	— 1. 5	45	+ 1.30	31
45 ...	— 2. 2	19	+ 1. 8	7
48 ...	— 2.22	— 7	+ 1. 6	— 1
51 ...	— 2.15	+ 2	+ 1.47	+ 14
54 ...	— 1.45	10	+ 2.30	14
60 ...	— 0.48	10	+ 3.40	12
66 ...	....	..	+ 4.46	11
72 ...	— 1.43	12	+ 6.54	11
84 ...	+ 5.10	18	— 8.44	14
96 ...	+ 8.10	15	.....	..

Molybdate de lithine : $LiOMoO^3$. — L'examen des nombres compris dans le Tableau donne lieu aux remarques suivantes :

1° La rotation négative produite par l'acide malique seul augmente de quantités très sensiblement égales pour des additions égales de sel jusqu'à ce que la quantité qu'on en ajoute à 1 équivalent d'acide malique représente 1 équivalent : elle atteint alors un maximum de — 10°8′, cinquante fois plus grand que la rotation initiale. Ce résultat s'interprète aisément si l'on admet que, dès qu'il est en contact avec l'acide, le sel contracte en totalité avec lui une combinaison à équivalents égaux, jusqu'à ce que, la quantité de sel employée étant 1 équivalent, tout l'acide entre en combinaison.

2° Pour des quantités de sel supérieures à 1 équivalent, la rotation éprouve brusquement une diminution qui continue très régulièrement; elle change de signe, croît toujours de quantités sensiblement égales pour des additions égales et atteint une valeur maxima de + 15°36′, quatre-vingt-cinq fois plus grande que

Digitized by Google

la rotation initiale. Cette variation régulière indique la formation progressive d'un nouveau composé, formation qui est totale lorsqu'il y a dans la solution, avec 4 équivalents d'acide, 9 équivalents de molybdate de lithine.

3° Des quantités de sel plus grandes déterminent immédiatement une diminution progressive de la rotation qui devient de nouveau négative et atteint une troisième valeur maxima qui est — 2°22′, treize fois plus grande que la rotation primitive. Ce maximum correspond à un poids de sel qui représente 4 équivalents; on est fondé à admettre qu'à la seconde combinaison a succédé une troisième formée de 1 équivalent d'acide malique et de 4 équivalents de molybdate neutre de lithine.

4° Cette combinaison, elle-même, n'est pas définitive. On voit, en effet, que de nouvelles additions de sel produisent une diminution de la rotation qui, de négative, devient de nouveau positive; elle croît avec assez de régularité pour qu'on puisse admettre la production d'une nouvelle combinaison qui, pour 1 équivalent d'acide malique, contient plus de 8 équivalents de molybdate de lithine, puisque pour ces proportions la rotation atteint la valeur de + 8° 10′ et continue à augmenter pour des poids de sel plus grands.

Molybdate neutre de magnésie : $MgOMoO^3$. — Avec ce sel, les phénomènes se succèdent aussi régulièrement en présentant les mêmes alternatives. Pour des quantités croissantes de sel : 1° maximum négatif de — 9°40′ représentant cinquante fois la rotation initiale; il correspond à une combinaison à équivalents égaux de l'acide et du sel; 2° diminution de la rotation, changement de signe, puis nouvelle valeur maxima de + 18° 14′, presque *cent* fois *plus* grande que la rotation primitive; elle correspond aux mêmes proportions relatives que dans le cas du molybdate de lithine, 4 équivalents d'acide et 9 équivalents de sel; 3° diminution de la rotation et valeur minima de + 1°6′ qui se manifeste encore ici pour 1 équivalent d'acide malique uni à 4 équivalents de sel; 4° accroissement régulier de la rotation indiquant la production d'une nouvelle combinaison que la solubilité du sel ne permet pas d'atteindre dans les conditions où je me suis placé, mais qui correspond à plus de 7 équivalents de sel pour 1 équi-

Digitized by Google

valent d'acide, la rotation pour ces proportions étant $+8°44'$ et augmentant pour des quantités de sel plus grandes.

Molybdate neutre de potasse et soude : $KO, 2NaO, 3MoO^3$. — On obtient facilement ce composé en fondant au rouge un mélange de 3 équivalents d'acide molybdique, 2 de carbonate de soude et 1 de carbonate de potasse. Après refroidissement, on reprend par l'eau et l'on obtient par évaporation de magnifiques cristaux qui sont des prismes hexagonaux réguliers ayant pour formule $KO, 2NaO, 3MoO^3, 28HO$. Les expériences faites avec ce sel neutre dans des conditions identiques aux précédentes ont donné les résultats compris dans le Tableau suivant :

Fraction d'équivalent de sel en $\frac{1}{24}$ d'équivalent.	Rotations observées.	Variation par $\frac{1}{24}$ d'équivalent.
0.....	— 0°.11	0°.00′
1.....	— 1.32	1.21
2.....	— 2.50	1.18
3.....	— 4. 7	1.17
4.....	— 5.26	1.19
5.....	— 6.44	1.18
6.....	— 8. 2	1.18
7.....	— 9. 2	1. 0
8 = $\frac{1}{3}$ éq...	— 9.22	+0.20
9.....	— 7.16	—2. 6
10.....	— 5. 8	2. 8
11.....	— 0.41	4.27
12.....	+ 2.28	3. 9
13.....	+ 5.29	3. 1
14.....	+ 8. 3	2.34
15.....	+11.34	3.31
16 = $\frac{2}{3}$ éq...	+13.41	—2. 7
17.....	+12.20	+1.21
18.....	+ 9.10	3.10
19.....	+ 6.33	2.37
20.....	+ 4. 1	2.32
21.....	+ 1.51	2.10
22.....	+ 0.15	1.36
23.....	— 1. 0	1.15
24 = 1 éq...	— 1.29	0.29
25.....	— 1.40	0.11

Digitized by Google

Fraction d'équivalent de sel en $\frac{1}{24}$ d'équivalent.	Rotations observées.	Variation par $\frac{1}{24}$ d'équivalent.
	°	° ′
26.....	— 1.50	0.10
27.....	— 2. 2	0.12
28 = $\frac{3}{3}$, $\frac{5}{3}$ éq.	— 2. 5	+0. 3
29.....	— 1.47	—0.18
30.....	— 1.32	0.15
33.....	— 0.28	0.21
36.....	+ 0.35	0.21
39.....	+ 2. 1	0.28
42.....	+ 2.38	0.28
48 = 2 éq...	+ 6.22	0.27
54.....	+ 8.50	0.25

Ces résultats peuvent être interprétés comme il suit : 1° Dès les premières additions, il se fait une combinaison entre la totalité du sel et une partie de l'acide malique, dans les proportions d'un équivalent d'acide malique pour $\frac{1}{3}$ d'équivalent de sel. Les variations de la rotation sont, en effet, presque rigoureusement égales pour des additions égales et, pour $\frac{1}{3}$ d'équivalent, la rotation atteint la valeur maxima — 9°22′ ou cinquante et une fois la rotation initiale. Le composé serait représenté par la formule

$$C^8H^6O^{10} + \frac{1}{3}(KO\,2NaO\,3MoO^3);$$

il contiendrait donc, pour 1 équivalent d'acide, 1 équivalent d'alcali et 1 équivalent d'acide molybdique. Les choses se passeraient donc comme dans le cas du molybdate de soude, pour lequel la valeur maxima est — 9°4′, très voisine de celle qu'on obtient avec le sel double. 2° L'addition de plus grandes quantités de sel provoque la décomposition graduelle de ce composé et sa transformation en un autre caractérisé par une rotation de sens contraire à la précédente et de valeur absolue plus grande, + 13°41′, soixante-quatorze fois la rotation initiale ; ce composé contiendrait, pour 1 équivalent d'acide, $\frac{2}{3}$ d'équivalent de molybdate double ou 2 équivalents d'alcali et 2 équivalents d'acide molybdique. Ce résultat est en tout conforme à celui que présente le molybdate neutre de soude qui donne pour ces proportions de corps en con-

Digitized by Google

tact un maximum de $+14^{\circ}1'$. 3° Ce composé est transformé par de nouvelles additions de sel en un autre de rotation négative et la valeur maxima de la rotation correspond à 1 équivalent d'acide et $\frac{3,5}{3}$ équivalents de sel ou 3,5 équivalents d'alcali et d'acide molybdique. Ce sont les proportions que présente le molybdate neutre de soude pour la valeur maxima correspondante qui est $-1^{\circ}33'$. 4° Enfin ce composé se change lui-même, pour des additions ultérieures, en un quatrième, de rotation positive et qui contiendrait, pour 1 équivalent d'acide, plus de $\frac{6,5}{3}$ d'équivalent de sel. On voit donc que le sel double de soude et potasse se comporte tout à fait comme le molybdate neutre de soude.

II. Molybdates acides. — Aux résultats que j'ai donnés antérieurement pour l'action de l'acide malique sur le molybdate acide d'ammoniaque, je vais joindre ceux que j'ai obtenus avec le molybdate acide de soude $3NaO, 7MoO^3, 22HO$.

Fractions d'équivalent de sel en $\frac{1}{48}$ d'équivalent.	Rotations observées.	Variations par $\frac{1}{48}$ d'équivalent.
0.....	— 0°.11′	0°.00′
$\frac{1}{4}$.....	— 0.34	1.32
$\frac{1}{2}$.....	— 0.58	1.36
1.....	— 1.44	1.32
$2 = \frac{1}{24}$ éq....	— 3. 3	1.19
$3 = \frac{1}{16}$ éq....	— 4.10	1. 7
$4 = \frac{1}{12}$ éq....	— 5. 0	0.50
$4,8 = \frac{1}{10}$ éq..	— 5.22	0.27
$5,33 = \frac{1}{9}$ éq..	— 5.27	+0. 9
$6 = \frac{1}{8}$ éq.....	— 5.19	—0.12
$6,86 = \frac{1}{7}$ éq..	— 4.58	0.24
$8 = \frac{1}{6}$ éq.....	— 3. 5	1.39
10.....	+ 0.14	1.40
$12 = \frac{1}{4}$ éq.....	+ 6. 6	2.56
14.....	+11.35	2.45
$16 = \frac{1}{3}$ éq.....	+19.23	3.54
18.....	+24. 9	2.23
20.....	+34.55	5.23
22.....	+41.22	3.14
$24 = \frac{1}{2}$ éq.....	+50.42	4.32
26.....	+57.55	3.44

Digitized by Google

Fractions d'équivalent de sel en $\frac{1}{48}$ d'équivalent.	Rotations observées.	Variations par $\frac{1}{48}$ d'équivalent.
28.....	+62°.58′	2°.32′
30.....	+68.30	2.46
32.....	+70.28	0.59
36.....	+74.37	1. 4
40.....	+75.35	0.49
44.....	+78. 4	0.54
48 = 1 éq.....	+78.14	—0. 5
52.....	+77. 0	+0.37
56.....	+76.10	0.35

En n'envisageant que les résultats les plus saillants des expériences, on peut dire que : 1° Il se fait d'abord une combinaison entre 1 équivalent d'acide malique et $\frac{1}{9}$ d'équivalent de molybdate acide; or, ce sel ayant pour formule $3NaO, 7MoO^3$, on voit que cette combinaison contient, pour 1 équivalent d'acide malique, $\frac{1}{3}$ d'équivalent d'alcali, ou 3 équivalents d'acide pour 1 équivalent de sel. Cette combinaison correspond à une rotation négative maxima de —5°27′ ou vingt-neuf fois la rotation initiale. 2° Des additions ultérieures la détruisent et, après des équilibres assez fugitifs sur lesquels je n'insiste pas, produisent une combinaison entre équivalents égaux d'acide et de sel. Cette combinaison, représentée par la formule $C^8H^6O^{10} + 3NaO, 7MoO^3$, correspond à une rotation maxima de 78°14′ qui est quatre-cent-vingt-six fois plus grande que la rotation initiale. Ces résultats sont tout à fait semblables à ceux que j'ai obtenus avec le molybdate ordinaire d'ammoniaque $3AzH^4O, 7MoO^3$, de même formule que le sel acide de soude : les deux maxima correspondant aux deux combinaisons sont —5°19′ et +72°40′; ils sont peu différents de ceux qu'on observe avec le sel de soude.

III. Tungstates alcalins. — Les tungstates alcalins ont, comme les molybdates, la propriété de donner avec les acides actifs des solutions dont le pouvoir rotatoire est beaucoup plus grand que celui qui correspond au corps actif qu'elles contiennent; mais l'effet est moins prononcé que pour les molybdates. Comme les

Digitized by Google

produits sont moins solubles, j'ai dû les observer dans un tube plus long que celui qui avait servi dans les expériences précédentes. Les solutions employées contenaient $1^{gr},1166$ d'acide malique additionné de fractions d'équivalent de tungstate croissant par $\frac{1}{12}$ et de la quantité d'eau distillée nécessaire pour amener le volume total à 24^{cc} à 15° et la longueur du tube d'observation était de $201^{mm},5$. Le Tableau suivant contient les résultats obtenus :

Fractions d'équivalent du sel employé en $\frac{1}{12}$ d'équivalent.	Tungstate neutre de soude. Rotations observées.	Tungstate neutre de soude. Variations par $\frac{1}{12}$ d'équivalent.	Tungstate neutre de potasse. Rotations observées.	Tungstate neutre de potasse. Variations par $\frac{1}{12}$ d'équivalent.
0.....	— 0°.15′	00′	—0°.15′	00
1..... ..	— 0.57	42	—0.56	41
2.....	— 1.37	40	—1.38	42
3..... ..	— 2.16	39	—2.19	41
4.....	— 2.53	37	—3. 1	42
5.....	— 3.30	37	—3.41	40
6.....	— 4. 7	37	—4.16	35
7.....	— 4.43	36	—4.56	40
8.....	— 5.20	37	—5.35	39
9.....	— 5.56	36	—6.17	42
10.....	— 6.32	36	—6.34	17
11.....	— 6.55	23	—7. 0	26
12 = 1 éq...	— 7. 3	+ 8	—7. 7	+ 7
13.....	— 6.54	— 9	—6.31	—36
14..	— 6.32	22	—5.44	47
15.....	— 6. 9	23	—4.56	48
16	— 5.44	25	—3.58	58
17.....	— 5. 7	37	—2.54	64
18.....	— 4.35	28	—2.16	38
19.....	— 4.14	21	—1. 8	68
20	— 3.44	30	—0.32	36
21.....	— 3. 1	43	+0.15	47
22.....	— 1.53	68	+1. 6	51
23.....	— 1.20	33	+2. 8	62
24 = 2 éq..	+ 0.14	—94	+2.42	—34
25.	— 0. 9	+23	+2.41	+ 1
26.....	— 0.43	34		
27 (1).....	— 1.17	34	+2.12	14

(1) Les observations suivantes ont été faites avec des solutions sursaturées.

Digitized by Google

Fractions d'équivalent du sel employé en $\frac{1}{12}$ d'équivalent.	Tungstate neutre de soude. Rotations observées.	Tungstate neutre de soude. Variations par $\frac{1}{12}$ d'équivalent.	Tungstate neutre de potasse. Rotations observées.	Tungstate neutre de potasse. Variations par $\frac{1}{12}$ d'équivalent.
	° ′	′	° ′	′
28.....	— 1.52	35		
29.....	— 2.16	24		
30 = 2^{éq},5..	— 2.27	+11	+1.24	16
31.....	— 2.19	— 8		
32.....	— 2. 8	11		
33.....	— 1.41	27	—0.32	38
36 = 3 éq..	— 0.17	28	—2. 1	+29
39.....	+ 1.28	31	—1.40	— 7
42.....	+ 2.57	30		
45.....	+ 5.16	26		
48 = 4 éq..	+ 5.24	23		
54.....	+ 6.56	15		
60 = 5 éq..	+ 7.36	7		
72 = 6 éq..	+ 9. 8	8		
84 = 7 éq..	+10.43	8		
96 = 8 éq..	+11.18	3		

L'examen de ces résultats donne lieu aux remarques suivantes :

Tungstate neutre de soude : $NaOTuO^3$. — L'addition de poids égaux de sel à une quantité constante d'acide malique produit des effets sensiblement égaux jusqu'à ce qu'on ait ajouté à 1 équivalent d'acide malique 1 équivalent de sel; la rotation atteint, pour ces quantités de matière en contact, un maximum de —7°3′ qui est vingt-huit fois la rotation produite par l'acide malique contenu dans la solution sous le même volume. On peut interpréter ce résultat en admettant que les quantités de sel ajoutées successivement se sont combinées avec l'acide en quantités équivalentes jusqu'à saturation complète de l'acide. 2° Les poids de sel ajoutés augmentant au delà de 1 équivalent, la rotation diminue régulièrement en valeur absolue, de négative devient positive et atteint un maximum représenté par +0° 14′, qui correspond à l'existence dans la solution de 1 équivalent d'acide et 2 équivalents de sel. Cette variation régulière indique la transformation graduelle du premier composé en un autre de pouvoir

Digitized by Google

rotatoire positif, transformation qui est complète quand on a ajouté à 1 équivalent d'acide 2 équivalents de sel. 3° Pour des quantités de sel plus grandes que 2 équivalents la rotation diminue, devient de nouveau négative, et atteint une valeur maxima $-2°27'$ correspondant à 2,5 équivalents de sel. Ces changements indiquent une transformation du composé précédent en un troisième qui serait formé de 2 équivalents d'acide et 5 équivalents de sel. 4° Cette nouvelle combinaison ne serait pas la dernière, car l'addition de nouvelles quantités de tungstate de soude change la grandeur de la rotation qui passe de gauche à droite et augmente assez régulièrement pour qu'on puisse admettre la production d'une autre combinaison contenant, pour 1 équivalent d'acide, plus de 8 équivalents de sel, proportions pour lesquelles on observe une rotation de $+11°18'$, quarante-cinq fois plus grande que celle que produit l'acide malique qu'elle contient.

Tungstate neutre de potasse : $KOTuO^3$. — Ce sel présente les mêmes particularités que le précédent : 1° augmentation régulière de la rotation négative jusqu'à un maximum de $-7°7'$ qui correspond à équivalents égaux des deux corps en contact; 2° diminution de la rotation avec changement de signe et maximum positif de $+2°42'$ pour 1 équivalent d'acide et 2 équivalents de sel; 3° nouvelle diminution de la rotation avec changement de signe et maximum négatif de $-2°1'$ lorsque la solution contient 1 équivalent d'acide et 3 équivalents de sel; 4° enfin nouvelle diminution de la rotation pour des quantités croissantes de sel. On est donc conduit à admettre la production successive de trois combinaisons entre 1 équivalent d'acide malique et 1, 2 et 3 équivalents de tungstate neutre de potasse.

On voit que ces résultats sont analogues à ceux que présentent les molybdates alcalins, avec des écarts moins grands dans les variations du pouvoir rotatoire.

Je rappellerai, en terminant, une remarque que j'ai déjà présentée ailleurs, c'est que, malgré l'augmentation extraordinaire communiquée aux corps actifs par les molybdates et les tungstates, on ne peut employer, à moins d'opérations multiples, la mesure du pouvoir rotatoire aux déterminations analytiques, parce qu'à la même valeur de la rotation peuvent correspondre deux, trois et

Digitized by Google

même quatre liquides de compositions très différentes. Il sera au contraire facile de distinguer les uns des autres les molybdates dont les formules sont $RO MoO^3$ et $3RO, 7MoO^3$, car les liquides qu'ils donnent avec les solutions d'acide malique ont des pouvoirs rotatoires qui ne changent pas de la même manière et qui ne sont pas, pour la plupart, du même ordre de grandeur.

SÉANCE DU 6 FÉVRIER 1891.

PRÉSIDENCE DE M. FRIEDEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 janvier est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. ARGYROPOULOS, Professeur de Physique, à Athènes (Grèce).
DÉGOSSES, Professeur au Collège de Morlaix.
LIMB, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.
MASSIN, Ingénieur des Télégraphes, à Paris.

M. VIOLLE, élu Vice-Président; M. PELLAT, élu Secrétaire général; M. P. CURIE, élu Vice-Secrétaire; M. J. GAY, élu Archiviste-Trésorier, et MM. BRILLOUIN, DEFFORGES, RIVIÈRE, VIEILLE, GOUY, GUÉBHARD, HURION, SARASIN et TÉPLOFF, élus membres du Conseil, adressent leurs remerciements à la Société.

M. le PRÉSIDENT fait remarquer qu'il reste à nommer un second membre pour la Commission du *Bulletin*.

M. FOUSSEREAU est élu par acclamation.

M. DESROZIERS informe la Société, par une lettre, que notre regretté collègue, M. Napoli, avait imaginé, en 1885, un appareil identique au *cyclostat* de M. le professeur Thury, de Genève, présenté pendant la dernière séance par M. Guillaume.

M. Desroziers a envoyé en même temps à la Société le brevet pris en 1889 par MM. Napoli et Piat pour les applications industrielles de cet appareil, qu'ils désignent sous le nom d'*explorateur optique*.

M. le PRÉSIDENT lit la notice nécrologique suivante de M. *Sandoz* sur M. *E. Reynier*, membre de la Société :

« Depuis notre dernière séance, la Société a perdu un de ses membres des plus jeunes et des plus zélés : M. Emile Reynier a été enlevé à la Science, le 20 janvier dernier, à l'âge de 39 ans seulement.

Digitized by Google

» M. Reynier, reçu membre de notre Société en 1876, nous avait fait diverses communications et présenté plusieurs appareils nouveaux, parmi lesquels on peut citer :

» En 1877, une nouvelle lampe électrique à rhéophores circulaires obliques; en 1878, la lampe à incandescence fonctionnant à l'air libre, et, en 1880, une pile voltaïque énergique et constante, fournissant des résidus susceptibles d'être régénérés par électrolyse. A partir de cette époque, il se livra tout entier à l'étude des piles secondaires, nous montra différents types d'accumulateurs, et nous avait même promis, pour l'une de nos prochaines séances, de présenter un nouveau modèle d'accumulateur élastique. »

M. Le Chatelier s'est proposé de caractériser les différents états moléculaires des métaux par la valeur de leur résistance électrique et de déterminer par la même méthode les températures auxquelles se fait le passage d'un état à l'autre. Aux points de transformation, la résistance électrique ne varie pas brusquement comme le font le volume, la chaleur d'échauffement et la plupart des propriétés physiques; la loi d'accroissement seule éprouve un changement brusque en donnant un point anguleux sur la courbe représentative.

Pour le fer et le nickel, la résistance électrique à froid et la loi d'accroissement sont identiques jusqu'à 340°; à cette température, un angle vif annonce la transformation connue du nickel. Pour le fer, la transformation correspondante se produit à 850°. Au-dessus de chacune de ces températures, les courbes de résistance sont rectilignes et parallèles. La transformation de 850° se produit à la même température dans les aciers au carbone et au silicium. C'est là une confirmation de la théorie cellulaire de M. Osmond; la fixité du point de transformation implique, en effet, la simple juxtaposition mécanique de fer pur et de siliciure ou carbure. Dans les aciers au nickel, au contraire, la transformation des deux métaux se produit à une température déterminée pour chaque alliage et intermédiaire entre 850° et 340°. Pour les divers alliages étudiés, cette température a varié entre 400° et 600°.

Les aciers au carbone ont donné un second point anguleux à la température de 730°, correspondant à la transformation connue sous le nom de *récalescence*. Ce point reste fixe quand la teneur en carbone des aciers varie.

Les courbes de résistance électrique n'ont donné aucune autre indication de transformation moléculaire du fer et de ses alliages. Il ne serait pas impossible cependant que la perte des propriétés magnétiques du fer et de l'acier qui, d'après les expériences de MM. Ledeboër et Hopkinson, a lieu à la température de 760°, ne corresponde à une troisième transformation moléculaire qui ne serait autre que le point a_{p^2} de M. Osmond. Cette transformation, comme celle du carbone, est peut-être empêchée par la trempe, ce qui n'a pas lieu au contraire pour la transformation de 850°.

M. Cornu fait connaître un travail de M. Otto Wiener, destiné à démon-

Digitized by Google

trer la perpendicularité des vibrations lumineuses au plan de polarisation.

La symétrie des phénomènes optiques dus à la lumière polarisée, par rapport au plan de polarisation et à un plan perpendiculaire, a forcé les physiciens à se demander, dès l'origine même de la théorie des ondulations, dans lequel de ces plans est orientée la vibration lumineuse. Par des considérations ingénieuses et par des voies très différentes, Fresnel était arrivé, comme on sait, à montrer que cette vibration doit être dirigée perpendiculairement au plan de polarisation. Bien que cette conclusion fût amenée par des considérations n'ayant pas le caractère d'indiscutable rigueur que l'on a coutume de demander à des démonstrations de ce genre, elle n'en équivalait pas moins à une certitude physique.

Toutefois l'atteinte portée à cette conclusion par divers physiciens, tels que Mac Cullagh et Neumann, rendait désirable la réalisation d'une expérience permettant de rendre, pour ainsi dire, le fait palpable. En 1867, M. Zenker proposait à l'Académie des Sciences de Paris une solution partielle du problème. Sa méthode consistait à examiner ce qui passe dans la partie commune à deux faisceaux de lumière polarisée, dirigés l'un sur l'autre à angle droit. Un raisonnement très simple permet de reconnaître immédiatement que, si la vibration est normale au plan de ces deux faisceaux pris comme plan de polarisation, la partie commune aux deux faisceaux doit être occupée par une série de plages alternativement lumineuses et obscures; tandis que ceci ne doit pas avoir lieu si la vibration est dans le plan même de polarisation.

Malheureusement, dans le cas de la première hypothèse, les franges d'interférence doivent être espacées les unes des autres de quantités tellement faibles (moins d'un demi-millième de millimètre) que le phénomène doit être très difficilement observable, en admettant qu'il se produise. Aussi le Mémoire de M. Zenker proposait-il seulement cette méthode de réalisation de l'expérience, les essais pratiques dirigés dans ce sens n'ayant pas été couronnés de succès.

M. Wiener a pu surmonter les difficultés, en fixant le phénomène, par la photographie, sur une pellicule sensible de collodion bromuré, d'une épaisseur de $\frac{1}{30}$ de longueur d'onde environ. Cette pellicule, placée très obliquement dans la région qui doit être occupée par les franges, permet d'avoir leurs traces beaucoup plus espacées que ces franges ne le sont elles-mêmes l'une de l'autre dans l'espace. Dans ces conditions, ces traces sont susceptibles d'être vues directement à l'œil nu.

Pour rendre le fait plus frappant, M. Wiener envoie côte à côte, sur la même plaque sensible, deux rayons lumineux provenant du dédoublement d'un seul à travers un spath d'Islande. Ces deux rayons sont polarisés à angle droit et, si les vibrations de l'un sont dans le plan d'incidence, celles de l'autre sont dans un plan perpendiculaire. Or l'expérience ne donne l'impression photographique des franges que pour les faisceaux polarisés dans le plan d'incidence, ce qui exige que la vibration soit normale à ce plan d'incidence, c'est-à-dire au plan de polarisation.

Digitized by Google

On obtient d'ailleurs les deux faisceaux dirigés à angle droit l'un sur l'autre, et devant interférer, en faisant tomber sous l'angle de 45°, sur une surface réfléchissante, un faisceau de lumière électrique polarisée qui est renvoyé dans une direction perpendiculaire à celle de l'incidence. Les deux faisceaux ont une partie commune dans le voisinage de la surface réfléchissante, et c'est là que l'on vient fixer le phénomène optique sur la pellicule photographique.

M. Pellat présente, de la part de M. A. Collot fils, un appareil de projection lumineuse, applicable aux balances de précision, à l'effet d'obtenir des pesées rapides. Cet appareil est absolument indépendant des organes de la balance, c'est-à-dire du fléau, des crochets et des étriers, de sorte qu'il peut se placer très facilement sur les balances de précision déjà existantes dans les laboratoires.

L'aiguille indicatrice des oscillations de la balance porte un réticule éclairé par derrière à l'aide d'un bec de gaz ou d'une lampe à incandescence dont les rayons sont concentrés par un réflecteur et une lentille condensatrice. En avant du réticule, un objectif de microscope projette, sur un écran dépoli gradué, l'image très amplifiée du réticule. Une loupe, placée en avant de cet écran dépoli, en grossit les divisions et amplifie encore le mouvement oscillatoire du réticule fixé à l'aiguille du fléau.

Grâce à cette amplification, on peut abaisser notablement le centre de gravité du fléau, de façon à obtenir une rapidité beaucoup plus grande dans ses oscillations.

Pour exécuter une pesée, on commence par opérer comme d'habitude, en se guidant sur l'extrémité de l'aiguille que l'on observe directement sur son cadran gradué et qu'on amène *à peu près* au zéro. Ceci fait, on allume la lampe du système optique, on lit la différence des divisions parcourues à droite et à gauche sur le cadran lumineux par l'image du réticule. Cette lecture fait connaître la position d'équilibre de l'aiguille et, par suite, le nombre de milligrammes et de fractions de milligramme dont il faut déplacer le cavalier pour obtenir l'équilibre parfait que l'on vérifie par une simple lecture.

Avec un peu d'habitude, une pesée exécutée au moyen de cet appareil ne demande guère que le quart du temps qu'on est obligé d'y consacrer avec les balances ordinaires.

Digitized by Google

Sur les transformations moléculaires des métaux et leurs conductibilités électriques.

PAR M. H. LE CHATELIER.

Les métaux, par certaines de leurs propriétés physiques et chimiques, principalement par leur conductibilité, se distinguent de la plupart des autres corps simples ou composés. On avait été conduit à leur attribuer des allures toutes spéciales, notamment en ce qui concerne leurs changements d'état moléculaire ou transformations allotropiques. Sur ce sujet les opinions les plus contradictoires avaient simultanément cours. Pour expliquer la variabilité de leurs propriétés mécaniques, quelques savants (1) admettent que les métaux peuvent exister sous une infinité d'états isomériques distincts, ne différant qu'infiniment peu les uns des autres. Par contre, des expériences sur les chaleurs spécifiques (2) conduisent à admettre un nombre très limité de transformations semblables se produisant d'une façon progressive par l'élévation de température. D'autres expériences faites sur la vitesse d'échauffement (3) des mêmes métaux indiquent au contraire des transformations brusques se produisant à des températures qui varieraient notablement avec la nature des impuretés, c'est-à-dire des petites quantités de matières étrangères interposées dans le métal. Ces divergences montrent bien nettement que la question des transformations moléculaires des métaux n'avait pas encore été suffisamment étudiée.

Pour élucider cette question j'ai songé d'abord à utiliser les variations brusques de dimensions qui accompagnent les transformations moléculaires. Mais le peu de précision que comportent les mesures de dilatation aux températures élevées et les déforma-

---

(1) DITTE, *Isomérie physique* (*Revue des Cours scientifiques;* 19 novembre 1889).

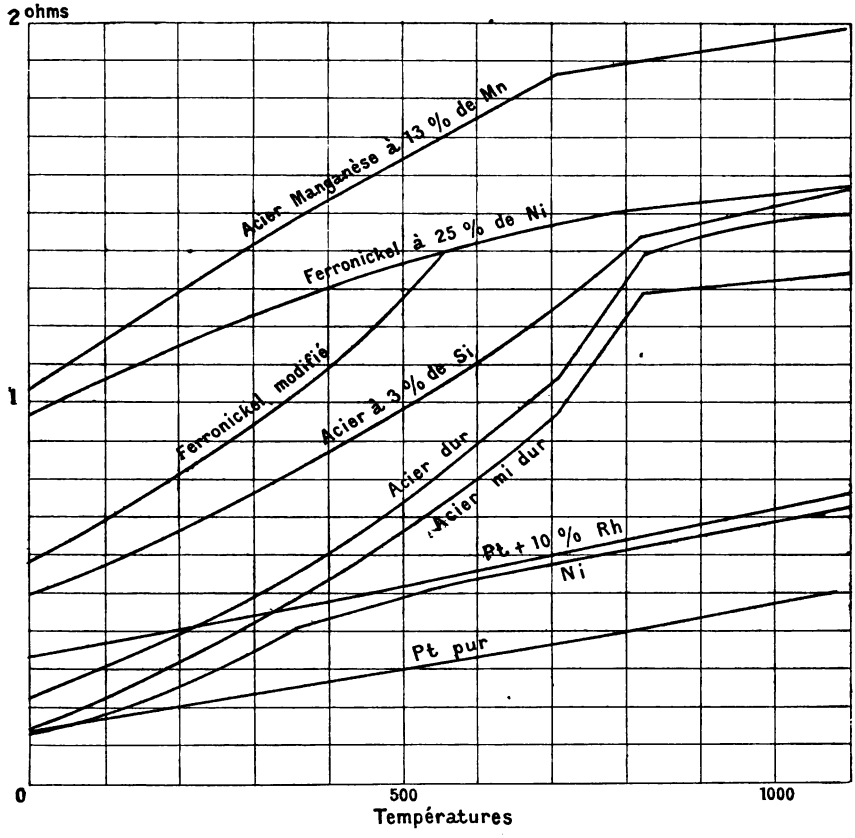
(2) PIONCHON, *Chaleur spécifique des métaux* (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* t. CIII, p. 1122).

(3) OSMOND, *Transformation des métaux* (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* t. CIII, p. 743 et 1135).

Digitized by Google

tions permanentes qu'éprouvent les métaux après chaque refroidissement ne m'ont permis d'obtenir dans cette voie aucun résultat satisfaisant. Pour l'acier seul j'ai pu mesurer exactement le changement brusque de longueur qui se produit au point de récalescence. J'ai trouvé $1^{mm},2$ par mètre de longueur pour un acier à 0,9 pour 100 de carbone.

Fig. 1.



Les mesures de résistance électrique m'ont au contraire conduit à des résultats très nets qui sont les suivants :

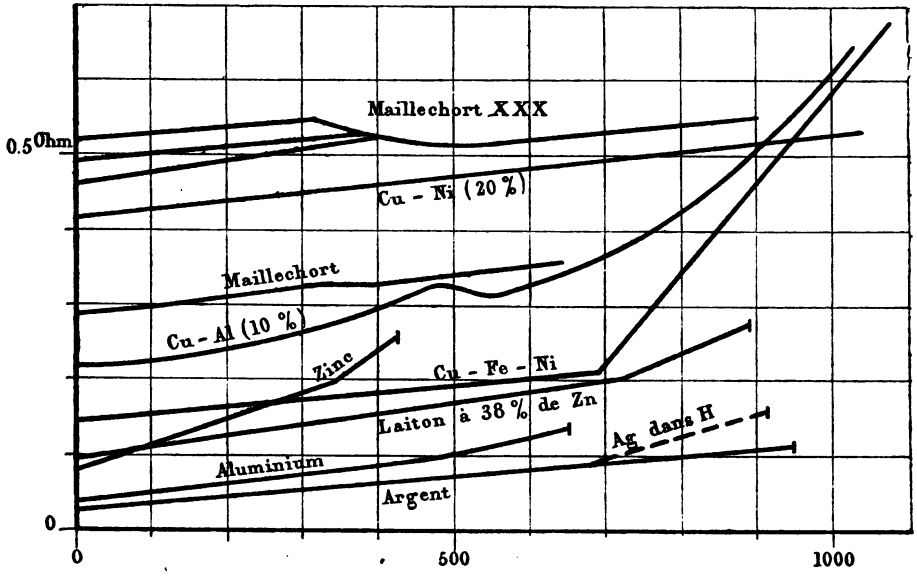
Les métaux qui ne présentent pas de transformations moléculaires ont une conductibilité qui croît proportionnellement à la température. La même loi est encore exacte pour les autres métaux

Digitized by Google

aux températures supérieures à celle de la dernière transformation, par exemple, pour le nickel au-dessus de 340°, le fer au-dessus de 850°.

Les variations de conductibilité accusent pour un grand nombre de métaux simples et d'alliages, des tranformations brusques, comparables par suite à celle de tous les corps cristallisés. A ces points ce n'est pas la valeur absolue de la conductibilité, mais seulement sa loi de variation qui change brusquement. On sait qu'au point de fusion ces deux éléments de la conductibilité sont simultanément altérés.

Fig. 2.



Le point de transformation du fer (850°) est indépendant de la présence de quantités plus ou moins considérables de carbone, silicium, etc. Ce fait est d'accord avec la théorie cellulaire des aciers de M. Osmond, d'après laquelle les carbure, siliciure de fer, sont disséminés entre les grains de Fe pur dont ils constituent le ciment. Un mélange mécanique de plusieurs corps ne saurait en effet modifier les propriétés chimiques d'aucun d'eux. De même le point de récalescence de l'acier (730°), c'est-à-dire de transfor-

Digitized by Google

mation du carbure de fer, est indépendant de la teneur en carbone ou en silicium de l'acier.

Les alliages de Fe et de Ni se comportent d'une façon toute différente. Les deux points de tranformation du fer (850°) et du nickel (340°) disparaissent et sont remplacés par un point unique intermédiaire entre les deux précédents. On est assuré de la transformation totale de l'alliage à cette température unique, par la perte complète des propriétés mécaniques et l'allure sensiblement rectiligne de la courbe de conductibilité. Ce fait démontre que, dans leurs alliages, le fer et le nickel ne sont pas simplement juxtaposés, mais intimement mêlés comme dans une combinaison chimique ou un mélange isomorphe.

Le ferro-nickel (Métal XXXX des électriciens), alliage contenant 25 pour 100 de Ni et 0,8 de carbone, présente des particularités singulières. Dans son état normal il n'éprouve au-dessus de 0 aucune transformation moléculaire et reste non magnétique jusqu'à la température ordinaire. Traité par de l'hydrogène humide qui peut oxyder le carbone et le silicium sans toucher aux métaux, il devient magnétique avec un point de transformation relevé à l'échauffement à 550°. Au refroidissement la transformation inverse se produit entre 0 et 100°. C'est le premier exemple d'une transformation moléculaire pseudo-réversible qui se produise à l'échauffement et au refroidissement à des températures différentes quoique nettement déterminées.

Les maillechorts ou alliages de nickel avec le cuivre et le zinc ou le cuivre seul présentent une transformation moléculaire d'un caractère tout différent. Elle se fait d'une façon progressive dans un intervalle de 100° et est accusée sur la courbe de conductibilité par un point d'inflexion compris entre un maximum et un minimum. Elle présente les plus grandes analogies avec les transformations moléculaires qu'éprouvent certains sels en dissolution dans l'eau : chlorure cuivrique, alun de chrome. Le maillechort se comporte donc comme une dissolution de nickel dans le cuivre; la transformation se produit progressivement et non d'une façon brusque comme dans le métal pur.

Il est certain que ce point d'inflexion est bien dû à une transformation moléculaire, parce que la trempe, le refroidissement rapide, font disparaître cette anomalie et donnent pour les basses

Digitized by Google

températures une courbe de conductibilité qui est le prolongement de la portion de courbe supérieure à 500°.

Des recherches effectuées par la même méthode sur la trempe de l'acier m'ont montré que l'état du fer, stable au-dessus de 850°, n'était pas conservé par la trempe jusqu'à la température ordinaire. Les transformations supprimées par la trempe sont celles du carbone (730°) et peut-être la transformation de 760° qui correspond au point de a_{p^2} de M. Osmond et à la disparition des propriétés magnétiques (1).

Au cours de ces expériences j'ai eu l'occasion de constater que l'argent absorbait l'hydrogène au-dessus de 600° et que cette absorption amenait un abaissement de 30° dans le point de fusion du métal. C'est là la raison des écarts qui s'étaient produits dans la détermination du point de fusion de l'argent mesuré par M. Violle et ensuite par M. Pionchon, en se servant de méthodes expérimentales en apparence identiques.

De l'ensemble de ces expériences, il résulte que les métaux, au point de vue de leurs transformations moléculaires se comportent exactement comme les autres corps que la Chimie étudie; c'est-à-dire que les transformations se font soit brusquement, le métal se comportant alors comme tous les corps cristallisés (composés définis ou mélanges isomorphes), soit progressivement dans le cas d'alliages se comportant comme des mélanges amorphes (dissolution ou verre). L'existence de ces deux états amorphes ou cristallisés dans les métaux est d'ailleurs accusée, dans un grand nombre de cas, par la simple inspection de la cassure. Ainsi le laiton à 40 pour 100 de Zn est cristallisé; le laiton à 60 pour 100 de Zn est amorphe.

La variabilité extrême des propriétés mécaniques des métaux s'explique sans l'intervention d'aucune isomérie spéciale en remarquant que ces propriétés ne dépendent pas seulement de l'état chimique du métal, mais aussi de sa structure interne; c'est-à-dire de la forme, des dimensions des cristaux ou grains du métal qui sont juxtaposés et du mode de répartition des impuretés.

---

(1) M. Hopkinson a conclu d'expériences récentes que la perte des propriétés magnétiques coïncidait avec le point de récalescence (730°). Mais ces expériences, de même que celles de M. Ledeboer, indiquent, en réalité, une température de 760° pour la perte des propriétés magnétiques.

Digitized by Google

Sur une expérience récente, déterminant la direction de la vibration dans la lumière polarisée.

PAR M. A. CORNU.

Le problème de la direction des vibrations de la lumière polarisée manquait, jusqu'à ces derniers temps, d'une solution expérimentale directe. Fresnel, il est vrai, avait apporté tant de considérations décisives tirées des lois de la réflexion ou de la double réfraction de la lumière en faveur de la normalité de la vibration au plan de polarisation, qu'aucun doute à ce sujet ne subsistait dans l'esprit de la plupart des physiciens. Toutefois l'obtention d'une preuve expérimentale directe était désirable : l'Académie l'avait mise plusieurs fois au concours, mais aucune réponse n'avait apporté la solution définitive de la question.

La Société apprendra sans doute avec intérêt que cette démonstration vient d'être faite et qu'elle a été obtenue précisément dans la voie que la Commission du prix Bordin pour 1867 avait honorée d'une récompense presque égale à la valeur du prix. L'auteur du Mémoire couronné, M. W. Zenker, de Berlin ([1]), avait proposé une méthode que le rapporteur de la Commission, M. Fizeau, résumait ainsi :

» ... Si l'on suppose que l'on fasse interférer deux rayons qui se rencontrent sous un angle de 90° en les polarisant l'un et l'autre de la même manière, soit parallèlement au plan formé par les deux rayons qui se croisent, soit normalement à ce plan, on peut prévoir que les effets d'interférence seront influencés d'une manière décisive par la direction réelle des vibrations dans les rayons polarisés.

» ... Vos Commissaires ont été unanimes à reconnaître le mérite distingué du Mémoire n° 1, ...; ils n'auraient pas hésité à donner le prix à ce travail, s'il n'était résulté de la discussion à laquelle ils se sont livrés qu'il subsiste encore quelque incerti-

---

([1]) *Comptes rendus des seances de l'Académie des Sciences*, t. LXVI, p. 932 et 1255; t. LXVII, p. 115.

Digitized by Google

tude sur l'efficacité des moyens très habilement combinés par l'auteur pour assurer le succès de son expérience. »

Il manquait, en effet, un moyen expérimental efficace pour mettre en évidence l'influence mutuelle des rayons polarisés se coupant à angle droit, les franges d'interférence devant être fort difficiles à séparer à cause de leur extrême finesse. Parmi les moyens suggérés par l'auteur figurait l'emploi de la photographie; mais aucune suite ne fut donnée à ce projet d'expérience qui, finalement, paraît être tombé dans l'oubli.

Le problème expérimental semblait donc insoluble dans cette voie, lorsque récemment (1) M. O. Wiener, à Strasbourg, sans avoir connaissance des recherches de M. Zenker, les reprit sous une forme légèrement modifiée qui lui permit d'en obtenir la solution. Une comparaison avec les phénomènes acoustiques permettra de montrer le point essentiel de la nouvelle méthode.

On sait que les mouvements vibratoires d'une onde permanente, réfléchis normalement (sur le fond d'un tuyau sonore, par exemple), se composent avec ceux de l'onde directe, en donnant naissance aux *nœuds* où les déplacements s'annulent et aux *ventres* où ils se doublent.

On montre dans les cours cette composition des déplacements à l'aide d'une membrane exploratrice, tendue sur un petit cadre, qu'on introduit avec un fil dans le tuyau sonore. La membrane signale l'état vibratoire de la tranche mobile où elle se trouve par un grincement caractéristique, maximum au ventres, nul aux nœuds.

M. Wiener reproduit d'abord cette expérience avec les ondes lumineuses photogéniques, en remplaçant la membrane par une pellicule photographique extrêmement mince, assez transparente pour laisser un libre passage aux deux ondes se croisant à sa surface et néanmoins assez sensible pour être impressionnée par les vibrations d'amplitude maximum. Avec la lumière, les plans des nœuds et des ventres successifs sont séparés par un intervalle extrêmement petit (un quart de longueur d'onde, soit environ $\frac{1}{10000}$ de millimètre); mais, en réglant l'inclinaison de la pellicule

(1) Otto Wiener, *Stehende Lichtwellen und die Schwingungsrichtung polarisirten Lichtes* (*Wiedemann's Annalen*, Band XL, p. 203; 1890).

Digitized by Google

exploratrice, on arrive à couper très obliquement ces plans, de manière à écarter beaucoup la distance de leurs traces; les vibrations lumineuses photogéniques donnent une impression sur les lignes où leurs amplitudes s'annulent : de là l'apparition de véritables franges lorsqu'on développe la pellicule comme un cliché photographique.

M. Wiener applique alors cette pellicule exploratrice à l'étude des mouvements vibratoires résultants, existant au voisinage d'une surface sur laquelle un large faisceau polarisé se réfléchit sous l'incidence de 45°. Les ondes incidente et réfléchie se coupent sous un angle droit comme dans le projet de M. Zenker; les vibrations ne peuvent donc ajouter ou retrancher leurs amplitudes que si leurs directions sont parallèles, ce qui n'aura lieu que dans le cas où les vibrations sont normales au plan d'incidence.

L'expérience est très concluante parce qu'elle offre simultanément et dans des conditions identiques les deux cas entre lesquels il faut trancher : le faisceau incident traverse un rhomboïde de spath d'Islande qui donne côte à côte deux faisceaux, l'un polarisé dans le plan d'incidence, l'autre dans le plan perpendiculaire : la pellicule offre alors deux plages contiguës, l'une impressionnée d'une manière uniforme, c'est-à-dire sans trace d'action mutuelle, l'autre sillonnée de franges; c'est celle qui correspond à la polarisation dans le plan d'incidence : les vibrations y sont donc normales à ce plan.

Les vibrations de la lumière polarisée sont donc normales au plan de polarisation.

Cette belle expérience, complément longtemps désiré de celle de Fresnel et Arago, mérite de faire époque dans l'histoire de l'Optique : elle renverse définitivement les théories qui placent la vibration dans le plan de polarisation de la lumière, comme celle de Mac-Cullagh et Neumann; par contre, elle confirme d'une manière éclatante les idées de Fresnel et de ses disciples, notamment dans toutes les conséquences relatives à la double réfraction, à l'aberration, à la constitution de l'éther dans les milieux isotropes ou cristallisés.

Elle précise par un fait palpable le caractère dynamique de la vibration lumineuse, qui commençait à passer, dans l'esprit de certains géomètres, pour une conception abstraite, pour une entité

Digitized by Google

symbolique indifféremment réductible à des équivalences cinématiques très diverses.

En présence de ce fait, où l'expérimentateur dirige à son gré l'action mécanique de la vibration lumineuse comme celle de la vibration sonore, on ne peut plus affirmer que la vibration optique soit une simple abstraction géométrique et que nos connaissances sur sa nature se réduisent à dire que c'est un *vecteur*.

On conçoit qu'il puisse rester d'autres interprétations de l'oscillation lumineuse, mais le champ des équivalences acceptables se trouve maintenant singulièrement réduit.

J'ai pensé que la Société verrait avec satisfaction la solution définitive d'un problème qui complète d'une manière si heureuse le cycle des expériences fondamentales de l'Optique moderne (1).

SÉANCE DU 20 FÉVRIER 1891.

PRÉSIDENCE DE M. FRIEDEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 février est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Abraham, Agrégé préparateur de Physique à l'École Normale supérieure.

M. le Président donne lecture de la lettre suivante adressée par M. Cailletet :

Paris, 20 février 1891.

Monsieur le Président,

Mon intention était de présenter ce soir à la Société, dans le cas où la séance n'eût pas été aussi chargée, un appareil destiné à obtenir une température très basse et susceptible d'être maintenue pendant un temps aussi long qu'on le désire.

C'est au moyen de la détente de l'acide carbonique liquéfié que ce refroidissement est obtenu. Le récipient qui contient l'acide carbonique communique à un serpentin traversant une masse d'alcool de plusieurs litres.

Je ne puis entrer aujourd'hui dans la description des dispositifs particuliers que j'ai dû employer pour éviter les obstructions dues à la formation de la neige carbonique; je me borne seulement à dire qu'on peut obtenir avec cet appareil, en quelques minutes, et avec une faible dépense, un abaissement de température de 70° ou 80° au-dessous de zéro, et que cette température peut être maintenue pendant un temps presque indéfini.

L. Cailletet.

---

(1) Voir *Journal de Physique*, t. X, p. 101, le Mémoire de M. Potier, relatif aux discussions qui se sont élevées à propos des expériences de M. Wiener.

Digitized by Google

M. Lippmann présente à la Société ses recherches *sur la photographie des couleurs.*

Il s'est proposé d'obtenir sur une plaque photographique l'image du spectre avec ses couleurs, de telle façon que cette image demeurât désormais *fixée* et pût rester exposée indéfiniment au grand jour sans s'altérer.

La méthode qu'il indique permet d'opérer avec les substances sensibles, les développateurs et les fixatifs courants en photographie, et en modifiant simplement les conditions physiques de l'expérience. Les conditions essentielles pour obtenir les couleurs en photographie sont au nombre de deux : 1° continuité de la couche sensible; 2° présence d'une surface réfléchissante adossée à cette couche. Il faut entendre ici par continuité l'absence de grains : il faut que l'iodure, le bromure d'argent, etc., soient disséminés à l'intérieur d'une lame d'albumine, de gélatine ou d'une autre matière transparente et inerte, d'une manière uniforme et sans former de grains qui soient visibles même au microscope; s'il y a des grains, il faut qu'ils soient de dimensions négligeables par rapport à la longueur d'onde lumineuse.

L'emploi des grossières émulsions usitées aujourd'hui se trouve par là exclu. Une couche continue est transparente, sauf ordinairement une légère opalescence bleue. J'ai employé comme support l'albumine, le collodion et la gélatine; comme matières sensibles, l'iodure et le bromure d'argent; toutes ces combinaisons donnent de bons résultats.

Afin d'obtenir le miroir adossé à la couche sensible, on a employé le dispositif suivant.

La plaque, sèche, est portée par un châssis creux où l'on verse du mercure; ce mercure forme une lame réfléchissante en contact avec la couche sensible. L'exposition, le développement, le fixage se font comme si l'on voulait obtenir un négatif noir du spectre; mais le résultat est différent : lorsque le cliché est terminé et séché, les couleurs apparaissent.

Le cliché obtenu est négatif par transparence, c'est-à-dire que chaque couleur est représentée par sa complémentaire. Par réflexion, il est positif, et on voit la couleur elle-même, qui peut s'obtenir très brillante. Pour obtenir un positif brillant, il faut révéler ou parfois renforcer l'image de façon que le dépôt photographique ait une couleur claire, ce qui s'obtient, comme l'on sait, par l'emploi de liqueurs acides.

On fixe à l'hyposulfite de soude suivi de lavages soignés; on s'est assuré qu'ensuite les couleurs résistaient à la lumière électrique la plus intense.

Trois des images photographiques colorées du spectre sont projetées devant la Société. M. Lippmann fait observer que l'on ne pourrait impunément concentrer ainsi la lumière électrique sur des épreuves qui ne seraient pas fixées.

La théorie de l'expérience est très simple. La lumière incidente, qui forme l'image dans la chambre noire, interfère avec la lumière réfléchie par le mercure. Il se forme, par suite, dans l'intérieur de la couche sensible, un système de franges, c'est-à-dire de maxima lumineux et de minima

Digitized by Google

obscurs. Les maxima seuls impressionnent la plaque; à la suite des opérations photographiques, ces maxima demeurent marqués par des dépôts d'argent plus ou moins réfléchissants, qui occupent leur place. La couche sensible se trouve partagée par ces dépôts en une série de lames minces qui ont pour épaisseur l'intervalle qui séparait deux maxima, c'est-à-dire une demi-longueur d'onde de la lumière incidente. Ces lames minces ont donc précisément l'épaisseur nécessaire pour reproduire par réflexion la couleur incidente.

Les couleurs visibles sur le cliché sont ainsi de même nature que celles des bulles de savon. Elles sont seulement plus pures et plus brillantes, du moins quand les opérations photographiques ont donné un dépôt bien réfléchissant. Cela tient à ce qu'il se forme dans l'épaisseur de la couche sensible un très grand nombre de lames minces superposées : environ 200, si la couche a, par exemple, $\frac{1}{20}$ de millimètre. Pour les mêmes raisons, la couleur réfléchie est d'autant plus pure que le nombre des couches réfléchissantes augmente. Ces couches forment, en effet, une sorte de réseau en profondeur, et, pour la même raison que dans la théorie des réseaux par réflexion, la pureté des couleurs va en croissant avec le nombre des miroirs élémentaires.

Compteurs d'énergie électrique : M. Hospitalier passe rapidement en revue les principes sur lesquels sont fondés les appareils servant à la mesure industrielle de l'énergie électrique. Le problème à résoudre ne date guère que d'une dizaine d'années, lorsque les premières stations centrales de distribution de l'énergie électrique firent leur apparition. La multiplicité des solutions proposées, expérimentées, réalisées et établies en service courant sur une échelle plus ou moins importante depuis cette époque suffisent à en montrer toute l'importance industrielle.

Au début des installations, alors qu'on ne disposait d'aucun appareil satisfaisant, on se contentait de supprimer le problème en traitant à forfait, et à tant par an, suivant l'importance de l'installation qui, à cette époque, ne comportait que des appareils d'utilisation peu variés : lampes à arc et lampes à incandescence.

Mais cette solution transitoire dut être bientôt abandonnée, car elle ne donnait satisfaction ni au consommateur d'énergie électrique ni au vendeur. Pour comprendre comment des solutions plus complètes sont intervenues, il nous faut examiner les termes mêmes du problème.

Un compteur parfait a pour fonction, si nous envisageons le problème dans toute sa généralité, d'effectuer l'intégration de l'expression

$$\int e I dt,$$

en appelant e la différence du potentiel aux bornes d'un appareil d'utilisation à un instant donné, et I l'intensité du courant qui le traverse au même instant.

L'appareil effectuant cette intégration est le plus complet de tous et constitue un *compteur d'énergie* ou *watts-heure-mètres*, car il intègre

Digitized by Google

en fonction du temps la puissance en watts dépensée par un appareil donné et la mesure en watts-heure. Mais d'autres appareils plus simples doivent être examinés auparavant.

Compteurs de temps. — Si l'on suppose que la consommation d'un appareil donné reste constante pendant tout le temps de son fonctionnement, on voit que l'intégrale ci-dessus se réduit à faire intégrer la somme des intervalles de temps pendant lesquels le courant est fourni à l'appareil : le compteur se réduit alors à une simple horloge mise en marche lorsque le courant passe et arrêtée lorsque le courant cesse de passer. On réalise ainsi un compteur de temps ou heure-mètre dont l'emploi se justifie encore dans un certain nombre d'installations peu importantes, dans lesquelles tous les appareils d'utilisation sont mis en fonction et arrêtés en même temps.

Compteurs de quantité. — Lorsque l'on suppose la distribution effectuée sous une différence de potentiel constante, l'intégration à effectuer se réduit à

$$\int I\,dt,$$

et l'appareil de mesure est alors un *compteur de quantité* ou un *ampères-heure-mètre.*

Les appareils appartenant à cette classe sont des plus nombreux : l'un des plus anciens est celui d'Edison, fondé sur l'action électrolytique. La quantité d'électricité fournie à l'abonné pendant un temps donné se déduit du poids de cuivre ou de zinc déposé dans une cuve électrolytique intercalée dans le circuit principal, et shuntée pour qu'elle ne soit traversée que par la millième partie du courant total. Le principal inconvénient de cet appareil réside dans l'absence d'indications : il n'est pas à lecture directe. Ce résultat n'est obtenu qu'avec les compteurs mécaniques.

Les compteurs mécaniques forment deux groupes : les compteurs-moteurs et les compteurs à intégration continue ou périodique.

Les premiers sont caractérisés par l'absence d'un dispositif mesurant le temps.

Ils consistent essentiellement en un système électrodynamique traversé par le courant à intégrer formant moteur, et d'un frein combiné pour que la vitesse angulaire du système tournant soit, à chaque instant, égale à l'intensité du courant qui le traverse. Dans ces conditions un compteur de tours commandé par l'axe du moteur intègre et fait connaître, par une simple lecture, à une constante près, la quantité d'électricité fournie à l'appareil.

C'est parmi les compteurs-moteurs que viennent se ranger les appareils de Siemens, de Lippmann, de Ferranti et celui de M. le professeur Forbes, mais dans ce dernier la rotation est obtenue en utilisant les propriétés *thermiques* du courant : une spirale métallique traversée par le courant total est disposée au-dessous d'un petit moulinet en mica analogue aux

Digitized by Google

fumivores rotatifs montés sur certaines lampes à huile ou à gaz. Le courant d'air chaud produit la rotation du moulinet qui commande un compteur de tours.

Les compteurs intégrateurs comportent toujours deux appareils associés : un mesureur de temps et un mesureur d'intensité. Le mesureur de temps a pour fonction de venir cueillir périodiquement, à des intervalles de temps variant en pratique, avec les appareils, entre un minimum d'une seconde et un maximum de cinq minutes, les indications fournies par l'appareil de mesure et de les traduire, par un mécanisme dont la simplicité constitue le principal mérite, par la rotation du premier mobile d'un compteur de tours, l'angle dont ce premier mobile a tourné étant proportionnel, dans chaque cueillette, à l'intensité du courant qui traversait l'appareil à l'instant où la cueillette a commencé. La somme des rotations ainsi effectuées représente, à une constante près, la quantité totale d'électricité fournie pendant la durée de fonctionnement.

C'est à cette classe de compteurs qu'appartiennent les appareils de MM. Cauderay, Frager, Jacquemier, etc.

Le mode d'intégration qui caractérise le compteur de M. le professeur Aron mérite une mention spéciale. Il se compose, en principe, de deux pendules synchrones, commandant un train différentiel auquel ils ne communiquent aucun mouvement. L'un de ces pendules a pour lentille un aimant qui oscille au-dessous d'une bobine fixe traversée par le courant total. Dans ces conditions, le courant qui traverse la bobine agit comme un système accroissant l'accélération due à la pesanteur pour l'un des pendules seulement, et il l'accélère. La différence de marche des deux appareils est, dans les limites d'emploi pratique, proportionnelle à la quantité d'électricité qui a traversé la bobine, et vient s'enregistrer sur un cadran devant lequel se déplace une aiguille commandée par le train différentiel.

Intégrateurs de conductibilité. — Lorsque le potentiel de distribution est constant, l'énergie électrique fournie à un circuit de conductibilité $\frac{1}{R}$ pendant un temps T a pour expression

$$e^2 \int_0^T \frac{1}{R}\, dt.$$

Il suffit donc d'intégrer l'expression $\int \frac{1}{R}\, dt$ pour avoir, à une constante près, la quantité d'énergie électrique fournie. Les appareils effectuant cette intégration sont des *compteurs-intégrateurs de conductibilité* ou des *mhos-heure-mètres*, car ils mesurent l'intégrale, en *mhos-heure*, de la conductibilité du circuit d'utilisation, le mho étant l'inverse de l'*ohm*, suivant une expression ingénieusement créée par Sir W. Thomson, comme la conductibilité est l'inverse de la résistance. Les compteurs de quantité, comme les intégrateurs de conductibilité, ont le grave défaut de ne donner

Digitized by Google

des indications rigoureuses que si le potentiel de distribution reste constant. Lorsque ce potentiel baisse, ces deux appareils font payer trop cher l'énergie électrique fournie au consommateur. Ils la font payer, au contraire, moins cher lorsque le potentiel de distribution augmente.

Dans un cas comme dans l'autre, la qualité de l'énergie fournie est peu satisfaisante, car, dans le premier, les lampes n'éclairent pas, et dans l'autre elles sont dangereusement poussées au point de vue de leur conservation. Le compteur pratiquement idéal serait un appareil scientifiquement faux, qui cesserait de totaliser dès que le potentiel de distribution s'éloignerait dans des proportions notables de sa valeur normale.

Compteurs de potentiel. — Dans un certain nombre de distributions d'énergie électrique employées en Amérique, on maintient l'intensité constante, au lieu de maintenir le potentiel de distribution constant, et les appareils d'utilisation sont montés en tension au lieu de l'être en dérivation. La mesure se réduit à effectuer l'intégrale de la différence de potentiel aux bornes en fonction du temps : le compteur est alors un volts-heure-mètre. Ces appareils n'ayant pas d'application en France, nous nous contentons de les signaler.

Compteurs d'énergie. — Les appareils effectuant l'intégration complète de l'expression

$$\int_0^T e\,\mathrm{I}\,dt$$

sont des *compteurs d'énergie* ou des *watts-heure-mètres*. Les uns sont des compteurs-moteurs, les autres des wattmètres à intégration périodique.

Les compteurs-moteurs, tel que celui du professeur Elihu Thomson, sont constitués par un moteur électrique sans fer dans lequel le champ est produit par le courant principal et l'induit par une bobine à fil fin montée en dérivation sur la distribution.

Le couple électrodynamique est ainsi proportionnel au produit $e\mathrm{I}$. L'axe vertical du moteur porte un disque de cuivre tournant entre trois aimants permanents, et il s'y développe des courants de Foucault qui constituent un frein électromagnétique. La vitesse étant à chaque instant proportionnelle au produit $e\mathrm{I}$, le nombre de tours effectués par le moteur fait connaître l'énergie fournie pendant le même temps. L'étalonnage et la graduation sont rendus relativement faciles par le fait que l'appareil est construit pour que chaque watt-heure corresponde à un tour de l'arbre moteur.

Les watts-heure-mètres, ou compteurs d'énergie à intégration périodique, sont fondés sur le même principe général que les compteurs de quantité de la même catégorie : l'appareil de mesure est seulement un wattmètre au lieu d'un ampèremètre.

A cette classe appartiennent les appareils de MM. Brillié, Cauderay, Clerc, Frager, Jacquemier, Marès, Richard frères, etc.

Digitized by Google

Sur le principe de différence de durée d'oscillation de deux pendules, M. Aron a combiné un compteur d'énergie dans lequel l'un des pendules porte une bobine à fil fin oscillant à l'intérieur d'une bobine à gros fil, traversée par le courant total. La différence de marche des deux pendules mesure les watts-heure qui ont traversé l'appareil et se lit directement.

Tels sont les principes généraux des compteurs électriques actuellement réalisés.

Un grand nombre de ces appareils sont déjà en service sur les réseaux de distribution des principales compagnies électriques. Il n'y a pas eu moins de 51 appareils présentés au Concours de compteurs institué par la Ville de Paris. Les expériences se poursuivent actuellement, mais nous devrons en attendre les résultats avant de pouvoir exprimer une opinion sur la valeur industrielle de chacun d'eux.

M. le Président remercie MM. Aron, Aubert, Brillié, Clerc, Déjardin-Marès, Frager, Jacquemier, Meylan, Richard, Soulat et Thomson Houston qui ont bien voulu prêter leurs appareils pour la Communication qui vient d'être faite par M. Hospitalier, et annonce que ces appareils seront aussi exposés à la réunion de Pâques.

SÉANCE DU 6 MARS 1891.

PRÉSIDENCE DE M. MALLARD.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 février est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Tissot, Enseigne de vaisseau, chargé d'un cours de Physique à l'École Navale de Brest.

M. le Président donne lecture de la lettre suivante qui vient de lui être remise de la part de M. Marcel Deprez.

Vendredi 6 mars 1891.

Monsieur et très honoré Confrère,

J'ai appris hier que M. d'Arsonval ferait ce soir une Communication sur un régulateur de vitesse et sur la mesure de l'équivalent mécanique de la chaleur. Je me suis beaucoup occupé de ces deux sujets et, craignant d'être devancé, j'ai l'honneur de vous adresser ci-joint deux Notes relatives, l'une à un système de régulateur, l'autre à un procédé de mesure de l'équivalent mécanique de la chaleur.

Je vous serai reconnaissant de vouloir bien en donner communication à la

Digitized by Google

Société de Physique et de demander leur insertion dans les Comptes rendus trimestriels. Si cependant les communications de M. d'Arsonval différaient complètement de ce que j'ai trouvé de mon côté, je préférerais attendre la prochaine séance.

Veuillez agréer, Monsieur et très honoré Confrère, l'assurance de mes sentiments les plus dévoués.

MARCEL DEPREZ.

M. le PRÉSIDENT, après avoir pris connaissance des deux Notes envoyées par M. Marcel Deprez et avoir reconnu que les méthodes employées par l'Auteur diffèrent totalement de celles de M. d'Arsonval, n'a pas donné lecture de ces Notes, conformément au désir exprimé dans sa lettre; cependant M. le *Président* espère que M. Marcel Deprez voudra bien exposer ses recherches à la Société.

M. BERGET présente un modèle portatif de l'Électromètre capillaire de M. Lippmann.

Il a cherché à rendre l'instrument transportable et commode en isolant la partie délicate, c'est-à-dire la pointe capillaire, des autres pièces de l'appareil.

La pointe, soudée à la cuve dans laquelle elle plonge, forme une petite pièce de verre soufflé, de $0^{m},10$ de long et de 6^{mm} de diamètre : elle est pleine de mercure, et porte un raccord à olives permettant de la coiffer d'un tube de caoutchouc. Deux fils en platine soudés dans le verre au-dessus de la pointe et au fond de la cuve permettent les communications.

L'appareil compresseur est formé d'un réservoir à air où le gaz, comprimé par le mercure d'un second réservoir, réuni au premier par un tube de caoutchouc, exerce sur le mercure de la pointe la pression nécessaire pour le faire couler. Le réservoir à mercure et le réservoir à air se meuvent le long d'une colonne d'acier, démontable en quatre parties, et vissée sur la boîte qui sert de support à l'appareil. Cette boîte supporte également la clef de contact.

La pointe se place sur la platine d'ébonite d'un microscope inclinant, d'un modèle spécialement construit par M. Nachet; on a ainsi l'avantage d'observer dans une position plus commode que quand le microscope est horizontal.

Tous ces accessoires, y compris le microscope, sont contenus dans la boîte-support, ce qui rend l'instrument très portatif. La sensibilité ne dépend que des dimensions de la pointe capillaire : elle est en moyenne de $\frac{1}{10000}$ de volt. L'appareil mis sous les yeux de la Société a été construit par M. Chabaud.

M. D'ARSONVAL a entrepris, pour la détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur, une série d'expériences dont il énumère rapidement le dispositif général. Cette détermination comporte deux mesures, savoir : 1° la mesure du travail absorbé; 2° la mesure de la chaleur dégagée.

Dans une première série d'expériences il a mesuré le travail au moyen

Digitized by Google

de l'entraînement d'un tube de cuivre rouge autour de l'axe duquel se déplace, d'un mouvement uniforme, un champ magnétique constant. Ce procédé de transformation du travail mécanique en chaleur a été employé pour la détermination de l'équivalent mécanique nombre de fois déjà et notamment par Joule, Tyndall, Violle, etc. M. Deprez y avait songé également dans un projet d'expériences qu'il devait faire en commun avec M. d'Arsonval, projet auquel il ne fut pas donné suite, mais qui fut communiqué en son temps au Congrès de la Rochelle.

Dans ce projet, le tube de cuivre, doublé d'un tube *de fer* intérieurement pour renforcer le champ, était mobile horizontalement autour de deux couteaux passant par son axe. Un aimant en fer à cheval, entre les branches duquel se trouvait le tube de cuivre, devait tourner autour de ce dernier, et un levier portant un plateau chargé de poids devait servir à peser l'effort tangentiel exercé par la rotation de l'aimant. L'intérieur du tube devait constituer un calorimètre d'Arsonval à température fixe qui sera décrite plus bas.

M. d'Arsonval a dû renoncer dès le début de ses recherches à ce dispositif, d'un montage très délicat, qui avait surtout le gros inconvénient de rendre le tube complètement inaccessible, à cause du mouvement circulaire de l'aimant, tube qui constituait d'autre part à la fois une balance et un calorimètre.

Pour cela il a supprimé les couteaux et complètement renversé le dispositif. Le tube a d'abord été suspendu autour d'un axe vertical constitué par un fil d'acier dont la torsion sert à mesurer très exactement l'effort tangentiel exercé sur le tube par la rotation de l'aimant. Quant à ce dernier, au lieu de tourner extérieurement au tube de cuivre, il tourne dans son intérieur. Le tube de cuivre rouge est suspendu dans l'intérieur d'un vase annulaire en ébonite qui le soustrait aux agitations de l'air ambiant et qui constitue en même temps le calorimètre. Le champ magnétique peut être renforcé à volonté par un tube de fer placé concentriquement, mais extérieurement au tube de cuivre. Ces deux tubes ne sont plus solidaires; le tube de cuivre est seul suspendu au fil de torsion et le tube de fer repose dans le calorimètre dont il peut au besoin constituer la paroi extérieure. En enlevant les deux tubes, on peut ainsi mesurer très exactement l'échauffement produit sur le calorimètre par le frottement de l'air entraîné par l'aimant, ce qui était impossible avec le premier dispositif. Pour avoir un effort tangentiel plus grand, M. d'Arsonval a remplacé l'aimant permanent par une bobine Siemens, en navette animée par un courant constant. On fait très facilement la correction due à l'échauffement du calorimètre par le passage du courant permanent, par le frottement de l'air, et les courants de Foucault pouvant prendre naissance dans le tube de fer doux en enlevant le cylindre de cuivre rouge et en ramenant à sa valeur première le courant qui traverse la bobine. D'ailleurs l'échauffement tenant à ces causes est insignifiant comparé à l'échauffement que provoque la présence du tube de cuivre rouge dans le champ. Pour

Digitized by Google

entraîner la bobine ou l'aimant constituant le champ magnétique, M. d'Arsonval s'est servi d'une dynamo portant un *régulateur de vitesse,* très simple et *réglable en marche.* On fixe à l'axe de la dynamo une lame élastique plate recourbée en cercle sur elle-même, le plan du cercle étant parallèle à l'axe de rotation. Sur le prolongement de cet axe se trouve une pointe fixe à vis qui amène le courant de la source électrique, ce courant passe par le cercle et de là à l'anneau et aux inducteurs. La vitesse s'accélère jusqu'à ce que la force centrifuge, aplatissant de plus en plus le cercle, le force à rompre le courant. Le jeu est facile à saisir : on règle la vitesse, sans arrêter le moteur, en manœuvrant la vis jusqu'à ce que l'effort tangentiel indiqué par la torsion du fil de suspension corresponde exactement à un nombre décimal de grammes, 50, 100 ou 500 suivant les dimensions de l'appareil et l'intensité du champ. On interpose entre les deux pièces de l'interrupteur une dérivation par laquelle passe la plus grande partie du courant moteur, ne laissant passer par le régulateur que la quantité suffisante pour parer aux petites variations de résistance que rencontre le moteur. Cette dérivation supprime toute étincelle de rupture même, avec un courant de 80 volts et de 20 ampères dans le moteur.

Dans une autre série d'expériences, M. d'Arsonval a transformé son calorimètre en frein de Prony ou en frein de Froude, ces deux freins étant automatiquement équilibrés; ce sera le sujet d'une autre Communication.

Quant à la mesure de la chaleur dégagée, une seule méthode a été employée : c'est celle que l'auteur a décrite en 1877 à la Société de Biologie et qu'il a constamment employée depuis cette époque dans ses recherches de Thermodynamique animale, sous le nom de *méthode calorimétrique à température constante.* Cette méthode consiste à maintenir *le calorimètre constamment à la température ambiante*, et cela en lui enlevant automatiquement la chaleur produite à chaque instant par une source frigorifique compensatrice qui en donne la mesure. M. d'Arsonval a employé pour cela de l'eau entrant à zéro dans le calorimètre et en sortant à la température ambiante T. Cette eau gagne donc T calories par litre écoulé. Dans une autre série il avait employé comme source frigorifique la volatilisation d'un liquide sans changement de température. Mais la première méthode est beaucoup plus simple et surtout beaucoup plus exacte. De nombreuses expériences faites sur un calorimètre capable de renfermer un chien ont montré à l'auteur qu'on retrouvait à moins de $\frac{1}{200}$ près une quantité de chaleur connue fournie à l'appareil. Cette méthode a l'avantage d'éliminer les corrections dues au rayonnement, de rentrer dans la définition même de la calorie et de pouvoir accumuler une quantité indéfinie de travail, l'appareil étant constamment ramené à l'état initial.

L'appareil employé par M. d'Arsonval n'a pu absorber plus de 5 kilogrammètres par seconde. M. d'Arsonval a pu néanmoins resserrer les nombres qu'il a fournis entre des limites satisfaisantes (419 et 427). Un appareil calculé pour absorber de 150 à 200 kilogrammètres, au moins,

Digitized by Google

est actuellement en construction, et il permettra d'éliminer certaines causes d'erreur auxquelles l'auteur n'a pu échapper, vu la petitesse du travail transformé en chaleur.

Par l'emploi de grands accumulateurs on peut supprimer le régulateur de vitesse, à la condition de monter en série la dynamo et la bobine Siemens entraînant le tube. Dans ces conditions, l'effort tangentiel reste sensiblement constant par un mécanisme de compensation facile à comprendre.

Comme introduction à l'*étude des procédés électriques de mesure des températures,* M. Guillaume a fait, à la suite des travaux de M. Benoît (construction d'étalons prototypes de l'ohm légal), quelques recherches sur les étalons mercuriels de résistance.

Un bon étalon doit être tel que l'on puisse connaître en tous temps sa valeur; en d'autres termes, il ne doit éprouver que des variations qui soient des fonctions connues d'une variable indépendante facile à déterminer (la température ou la pression, par exemple). Les étalons mercuriels de résistance électrique peuvent être construits de manière à remplir cette condition.

En effet, les seules causes de variation que l'on ne puisse pas rapporter à une variable indépendante résident dans l'impureté du mercure employé, ou les changements permanents qu'éprouve le tube de verre dans lequel le mercure est enfermé. Les expériences de M. Lenz ont montré que la résistance spécifique du mercure est peu sensible à de petites impuretés, tandis que, d'après MM. Benoît et de Nerville, du mercure de toutes provenances, convenablement purifié, revient toujours à la même résistance spécifique.

L'élévation du zéro observée dans les thermomètres à mercure conduit à la conclusion que les étalons mercuriels en verre dur n'éprouvent pas, sous l'influence du temps, de variations dépassant $\frac{1}{200000}$, tandis que les étalons en cristal peuvent varier de $\frac{1}{20000}$ ou davantage. Une conclusion analogue s'applique aux variations produites par un échauffement passager des tubes.

On ne possède pas de données directes sur l'épaisseur de verre qui peut être dissoute par le nettoyage d'un tube à l'aide des acides ordinaires, de l'ammoniaque et de l'eau. La précision des mesures de résistance étant d'environ $\frac{1}{100000}$, la dissolution d'une couche uniforme de $0^{\mu},01$ à l'intérieur d'un tube de 1^{mm^2} de section serait déjà sensible. On sait que le verre dur est un des plus insolubles; jusqu'ici, les mesures de résistance faites après de nombreux nettoyages n'ont pas permis de constater la moindre augmentation de la section.

Dans toutes ses mesures, M. Guillaume a employé la méthode du pont, avec substitution des étalons dans la même branche. Pour l'application, aux mesures de précision, cette méthode admet deux solutions satisfai-

Digitized by Google

santes. La première consiste à mesurer la différence des étalons par la résistance d'une fraction de fil tendu, tandis que, dans la seconde, on équilibre le galvanomètre en établissant des dérivations convenables sur les résistances à comparer. Les conditions de l'emploi du premier procédé ont été étudiées en détail par MM. Benoît et de Nerville. M. Guillaume s'est servi des mêmes appareils et a recommencé leur étude dans des conditions variées.

Soient dans le second procédé, R_1, R_2 les résistances à comparer, R'_1, R'_2 leurs dérivations respectives, on a

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R'_1} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R'_2},$$

d'où l'on tire

$$R_1 = \frac{R_2}{1 + R_2 \dfrac{R'_1 - R'_2}{R'_1 R'_2}} = \frac{R_2}{1 + k R_2}.$$

La quantité $k = \dfrac{R'_1 - R'_2}{R'_1 R'_2}$ se calcule immédiatement sur le livret d'expérience. En supposant les résistances R_1 et R_2 suffisamment voisines, c'est-à-dire la quantité $R_2\left(\dfrac{1}{R'_1} - \dfrac{1}{R'_2}\right) = 1 - \dfrac{R_2}{R_1}$ négligeable dans les termes correctifs, l'erreur dR_1 de l'inconnue R_1 peut être écrite

$$dR_1 = dR_2 - \frac{R_2}{R'_1}\frac{dR'_1}{R'_1} + \frac{R_2}{R'_1}\frac{dR'_2}{R'_2}.$$

Les termes dépendant des shunts sont donnés par les erreurs relatives de ceux-ci, multipliées par les rapports des résistances à leurs shunts. Si l'on suppose que R_1 et R_2 diffèrent au maximum de $\frac{1}{20}$ de leur valeur, le plus défavorable des deux termes devient $\frac{1}{20}\dfrac{dR'}{R'}$; or on peut étalonner une boîte de résistance à $\frac{1}{5000}$ près, ou même davantage; dans la supposition faite ci-dessus, les termes provenant des shunts peuvent donc être abaissés au-dessous du cent-millième.

Tous les problèmes concernant les comparaisons par dérivation peuvent être résolus graphiquement par la considération des *dérivations conjuguées*. Lorsque, dans la comparaison de deux résistances R_1 et R_2 on a choisi l'une des dérivations, R'_1 par exemple, l'autre R'_2 est donnée; toutes les résistances R'_1 et R'_2 correspondant aux mêmes valeurs de R_1 et R_2 sont conjuguées deux à deux; si on les porte en abscisses et ordonnées, on obtient des hyperboles, dont chacune se rapporte à un système de valeurs de R_1 et R_2. Le diagramme des dérivatives conjuguées est très utile à consulter pendant les expériences; il renseigne immédiatement sur la valeur relative de R_1 et R_2, et sur les dérivations qu'il faut choisir.

M. Guillaume a fait une étude des boîtes de résistance et l'étalonnage complet de quatre décades à double entrée, de M. Carpentier. Dans aucune

Digitized by Google

de ces boîtes, l'erreur relative de l'ajustage d'une résistance comptée à partir du commencement de la décade ne dépasse $\frac{3}{10000}$.

Une grosse bobine en maillechort, de 1ω, construite en 1884, a été mesurée à la fin de 1889 et au commencement de 1891; la variation qu'elle a éprouvée dans cette période est inférieure à $\frac{1}{10000}$; M. Guillaume attribue cette permanence au fait: 1° que la bobine est vieille; 2° qu'elle a été maintenue dans une salle dans laquelle la variation diurne de la température est très faible. Il en conclut que les boîtes de résistance bien construites et convenablement employées peuvent donner des résultats exacts; lorsqu'elles ont quelques années de date, il suffit de les comparer à intervalles, même éloignés, à des étalons mercuriels, pour avoir, par interpolation, toute l'exactitude désirable. Pour l'emploi, l'auteur recommande les décades à double entrée (deux rangs de chevilles), qui offrent, dans le groupement en série ou en dérivation, un nombre énorme de combinaisons.

Modèle portatif d'électromètre capillaire;

Par M. Alphonse Berget.

L'instrument, dont je vais donner ici la description, ne contient aucun organe nouveau : le merveilleux appareil de M. Lippmann a, en effet, été complet dès son apparition, et son auteur, en imaginant ses divers organes tous nécessaires et suffisants, n'a laissé place à aucun perfectionnement. Le modèle nouveau que j'ai réalisé comprend donc toutes les parties que comprenait le type original. La seule différence est que ces parties sont agencées de façon à rendre l'instrument transportable.

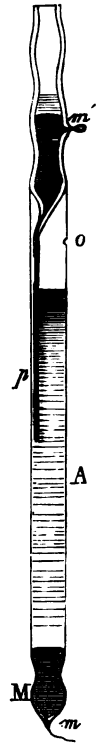
La partie délicate d'un électromètre capillaire est la pointe de verre et la cuve dans laquelle elle plonge. J'ai réuni ces deux organes en une pièce unique, représentée de grandeur naturelle sur la *fig.* 1. Voici la description de cette pièce.

La cuvette A, en verre soufflé, se termine à sa partie inférieure par une ampoule M contenant du mercure que l'on peut porter à un potentiel donné par l'intermédiaire d'un fil de platine *m* soudé dans le verre du tube. A la partie supérieure, elle est soudée à un tube M′ de même diamètre, terminé par le point capillaire *p*, rempli de mercure. Un second fil de platine *m′* permet de mettre ce mercure en communication électrique avec les appareils convenables. Un trou très fin *o*, percé dans la cuvette, près de la sou-

Digitized by Google

dure, sert à l'introduction du mercure et de l'eau acidulée, en même temps qu'il permet à la pression atmosphérique de s'exercer sur le liquide.

Fig. 1.



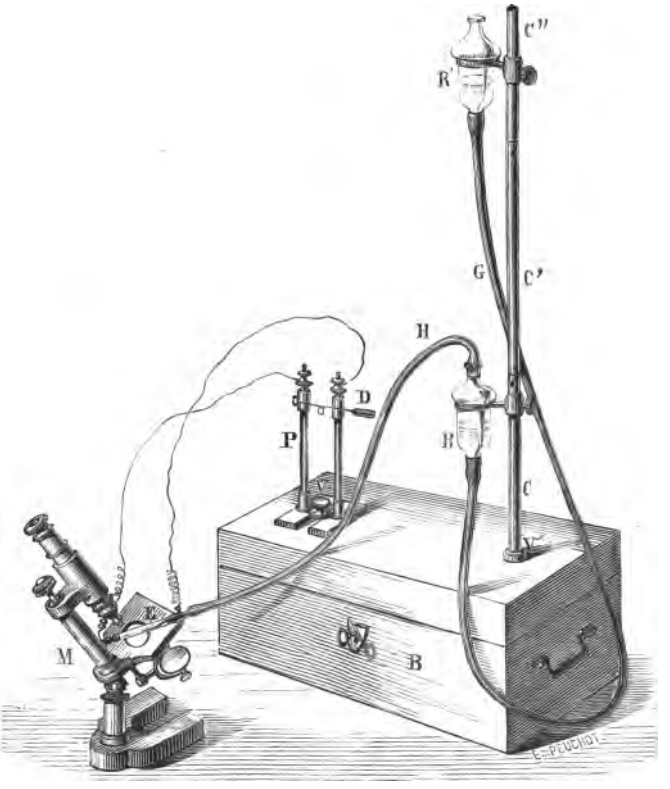
L'ensemble de l'appareil est représenté par la *fig.* 2.

La pointe et la cuvette se voient en E, sur la platine du microscope M servant à l'observation. Cette platine est recouverte d'une plaque d'ébonite. Pour exercer une pression sur le mercure M′ et le faire pénétrer dans la pointe *p*, on se sert de deux réservoirs de verre R et R′ réunis par un tube de caoutchouc G et placés à des niveaux différents le long d'une colonne en cuivre $cc'c''$: on a en R une pression mesurée, en mercure, par la différence des niveaux R et R′. Cette pression se transmet par compression d'air, à l'aide du tube de caoutchouc H, au mercure M′ de l'électromètre. On fixe, en haut de la colonne de cuivre, le ré-

Digitized by Google

servoir R′ et l'on élève ou l'on abaisse à la main le réservoir R, jusqu'à ce que le ménisque apparaisse dans la pointe, près de l'extrémité de cette dernière.

Fig. 2.



On voit en P une clef de fermeture fixée par une vis V au couvercle de la boîte B qui renferme tout l'appareil et lui sert aussi de support. La colonne $cc'c''$ est démontable en quatre tronçons de $0^m,25$ chacun. Le microscope M, spécialement construit par M. Nachet, a un grossissement de 300 fois, réalisé à l'aide d'un objectif n° 5 et d'un oculaire micrométrique n° 2. Il se loge également dans la boîte gainée de l'instrument, dont toutes les autres parties ont été très habilement construites par M. Victor Chabaud.

Digitized by Google

SÉANCE DU 20 MARS 1891.

PRÉSIDENCE DE M. FRIEDEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 6 mars est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. DUPAYS (CH.), professeur au Lycée Janson de Sailly.
PONSOT, professeur au Lycée de Versailles.

M. le PRÉSIDENT annonce à la Société la perte qu'elle vient de faire en la personne de M. le colonel GOULIER.

Le colonel *Goulier* a exercé pendant trente-trois ans les fonctions de professeur de Topographie à l'Ecole d'application du Génie et de l'Artillerie; en prenant sa retraite, il a été nommé conservateur des instruments de précision servant aux travaux du Génie militaire : il était membre du Comité du nivellement général de la France.

Son enseignement, basé sur les méthodes scientifiques, a laissé une trace profonde; il ne l'a pas publié lui-même, mais on le trouve exposé dans la *Topographie* du colonel Le Hagre, l'un de ses successeurs à Fontainebleau.

Le colonel Goulier s'est appliqué à perfectionner les instruments, en leur donnant surtout un cachet pratique sans leur enlever la précision. C'était l'homme des recherches minutieuses et délicates. On lui doit de notables progrès sur les tachéomètres, sur les télémètres, sur les niveaux et les mires employés dans le nivellement de précision.

Le colonel Goulier n'a publié que quelques Mémoires, qui ont été insérés dans le *Mémorial du Génie;* au moment où la mort est venue le surprendre, il mettait la dernière main à un traité sur la télémétrie et à un autre traité sur le nivellement.

M. le PRÉSIDENT annonce à la Société que les sept grandes Compagnies de chemins de fer ont bien voulu, à l'occasion des séances de Pâques, accorder aux membres de la Société une réduction de 50 pour 100 sur le prix des places de chemin de fer.

M. le Président rappelle à la Société que les Séances de Pâques auront lieu les 31 mars, 1er et 3 avril. Le 2 avril, M. EIFFEL invite les membres de la Société à faire l'ascension de la Tour du Champ de Mars et à visiter les appareils scientifiques et les machines qui y sont installés.

M. le Président adresse à M. Eiffel tous les remerciements de la Société.

M. le Président lit une lettre de M. G. WEISS au sujet de deux appareils qu'il utilise pour les recherches d'électrophysiologie : le premier sert à

Digitized by Google

déterminer par points ou d'une façon continue la forme de l'onde d'une machine dynamo, le second permet d'étudier la forme d'une onde électrique telle que décharge de condensateur, onde induite de rupture, onde de fermeture, onde d'établissement d'un courant.

M. Paul Janet annonce qu'il entreprend des recherches du même genre sur les courants alternatifs par la méthode stroboscopique.

A propos de la revendication de priorité de M. Desroziers relative au cyclostat, M. Guillaume fait remarquer qu'il a mentionné cet appareil uniquement à cause de son application à la lecture du thermomètre-fronde. La Notice de M. Thury dont il a été fait hommage à la Société date de 1886; l'appareil présenté figurait à l'Exposition universelle, dans la vitrine de la Société genevoise de construction.

Marégraphe plongeur, par M. L. Favé. — L'appareil a pour but d'obtenir l'enregistrement continu des hauteurs de l'eau avec une exactitude suffisante pour les campagnes hydrographiques, tout en étant d'un très petit volume et tout en pouvant fonctionner sans aucune surveillance pendant une dizaine de jours; pour cela il est immergé au fond de l'eau et il inscrit les variations de la pression qu'il supporte; on en déduit facilement les variations de hauteur de l'eau. Il se compose de deux capsules de baromètre anéroïde à parois ondulées, fixées vis-à-vis l'une de l'autre, par le centre de l'une de leurs faces, à un support creux qui met l'intérieur en communication avec la mer par l'intermédiaire d'un liquide qui ne peut les oxyder, du pétrole bien purifié. Les parois extérieures de ces deux capsules agissent sur de fortes lames d'acier qui fléchissent lorsque la pression augmente à l'intérieur; leur déplacement s'inscrit au moyen de deux pointes frottant sur un disque de verre couvert d'un enduit, qu'un mouvement d'horlogerie fait tourner. Les pointes sont solidaires du centre des parois des capsules dont le mouvement s'inscrit ainsi directement sans l'intermédiaire des systèmes mécaniques qui, dans les manomètres fondés sur le principe de la déformation d'un corps métallique élastique amplifient le mouvement.

Ces mécanismes diminuent la précision et sont trop fragiles pour un appareil qui, destiné à subir des mouvements et des chocs violents, a besoin d'être à la fois robuste et précis. La mesure de l'écartement des deux traits faits par les pointes, qui n'est que de 5^{mm} pour 10^{m} d'eau, s'opère au moyen d'un microscope mû par une vis micrométrique. L'emploi de deux pointes se mouvant en sens contraire rend l'exactitude des tracés indépendante du jeu de l'axe tout en permettant l'inscription de plusieurs courbes que l'on suit assez facilement malgré leurs croisements. Le disque de verre est recouvert d'une couche très mince d'azotate de rosaniline dont on fait une solution saturée dans l'alcool à 95°, soit $2^{gr},2$ pour 100^{cc}, et que l'on additionne de 10^{cc} d'éther. On verse la solution sur la plaque tenue horizontalement et, lorsqu'elle est couverte, on la renverse verticalement et on la

Digitized by Google

présente à un feu ardent, en ayant soin d'essuyer rapidement et constamment le liquide qui s'amasse à la partie inférieure sur la tranche. On obtient ainsi une couche uniforme de cette substance qui a la propriété de permettre des tracés d'une extrême finesse et présente assez de résistance pour qu'un frottement accidentel modéré ne l'enlève pas. L'ensemble du système est contenu dans une boîte parfaitement étanche.

Cet instrument permet d'aborder le problème, intéressant à plusieurs points de vue, de la détermination du régime de marées à grande distance des côtes. Pour cela on le place sous une cloche et on fait communiquer, d'une part l'intérieur des capsules, d'autre part l'intérieur de la boîte qui renferme l'appareil, avec la partie supérieure de la cloche au moyen de deux tubes. Si on immerge le tout, l'air est comprimé à la partie supérieure de la cloche, dans l'intérieur des capsules et dans l'intérieur de la boîte. Dans ces conditions, les parois des capsules étant également pressées à l'intérieur et à l'extérieur n'éprouvent aucun déplacement et l'appareil reste au zéro, quelle que soit la profondeur. Si l'on ferme la communication avec l'intérieur de la boîte et que l'on continue la descente, la pression va rester constante à l'extérieur des capsules et continuer à augmenter à l'intérieur. L'appareil va commencer à fonctionner comme si l'on faisait abstraction de toute la couche d'eau supérieure et lorsqu'il reposera au fond il inscrira les variations de hauteur de l'eau avec la même sensibilité que s'il était immergé à une faible profondeur. La fermeture s'opère automatiquement; pour cela, un poids suspendu à une chaîne de longueur convenable maintient ouvert un robinet qu'un ressort tend à fermer; il se ferme lorsque le poids touchant le fond cesse d'agir.

M. Vieille a cherché dans l'étude des phénomènes explosifs la vérification de la loi limite de compressibilité des fluides à laquelle conduisent les formules de Clausius et de van der Waals dans l'hypothèse de hautes températures et de grandes condensations.

Cette vérification résulte de l'étude de la loi d'accroissement des pressions produites en vase clos, sous charges croissantes, par les explosifs de toute nature.

Elle résulte également de la loi d'accroissement des vitesses de propagation des phénomènes ondulatoires que l'on observe dans les fluides à haute température pour des densités croissantes.

M. Vieille fait connaître les conditions dans lesquelles on peut faire naître ces phénomènes ondulatoires dans les produits, de la décomposition des explosifs, et les procédés qui permettent de les enregistrer.

Les vitesses de propagation observées sont comprises dans les limites théoriques et présentent la loi d'accroissement avec les densités qui résulte de la loi limite de compressibilité $p = \frac{RT}{V - \alpha}$.

Digitized by Google

Marégraphe plongeur;

Par M. L. Favé.

L'étude du phénomène des marées, tant au point de vue des lois générales qu'au point de vue également intéressant des perturbations, exige l'emploi d'appareils enregistrant d'une façon continue les variations de hauteur de l'eau. Le développement de la navigation nécessite que les Annuaires donnant les heures et les hauteurs des pleines et des basses mers soient étendus à des points de plus en plus nombreux; il y a donc grand intérêt à multiplier les appareils enregistreurs, destinés à fournir les données nécessaires à la prédiction des marées.

Les levés hydrographiques comportent pendant leur exécution des observations suivies des marées, tant pour l'étude du phénomène général que pour la réduction des sondes au niveau des plus basses mers et pour la détermination de ce niveau.

La plupart des marégraphes actuellement en usage exigent, pour leur installation, des conditions que l'on ne rencontre guère que dans les ports où des ouvrages ont été établis en mer ; leur volume, même pour ceux que l'on a cherché à rendre portatifs, permet rarement aux hydrographes de les emporter, et l'on se contente, en général, d'observer la hauteur de l'eau sur une échelle graduée plantée verticalement en mer dans le voisinage de la côte. L'installation de ces échelles qui doivent quelquefois avoir une hauteur de dix mètres et plus, est une opération longue et difficile même lorsqu'on dispose de ressources plus grandes que celles auxquelles on est réduit le plus souvent dans les campagnes lointaines, et il est rare qu'elles résistent longtemps au choc des lames. L'installation des observateurs, tant pour les échelles que pour les marégraphes, présente, dans beaucoup de pays, en particulier dans ceux où l'hostilité des habitants est à craindre, de grandes difficultés.

Les observations aux échelles sont peu précises, elles exigent de la part des observateurs un soin et une conscience que l'on n'est jamais sûr de rencontrer, enfin, elles sont presque impossibles de nuit. Or il est toujours utile et même nécessaire, lorsque l'onde

Digitized by Google

diurne a une valeur notable, que la période d'observation embrasse vingt-quatre heures.

Ces raisons font qu'un instrument d'un petit volume, fonctionnant sans surveillance pendant plusieurs jours et donnant, avec une précision suffisante, un enregistrement continu, est appelé à rendre de grands services.

Le nouveau marégraphe n'a pas pour but de remplacer les instruments fixes qui donnent d'excellents résultats, mais d'abord de suppléer aux observations faites au moyen d'échelles dans les campagnes hydrographiques et, en second lieu, de permettre l'enregistrement des marées dans les cas nombreux où une installation dispendieuse n'est pas possible.

Il a encore pour but d'aborder un problème qui ne l'a pas encore été : celui de la détermination des marées au large, à grande distance des côtes.

On sait que la présence des continents et la forme des côtes ont une influence considérable sur la manifestation des marées. Il y a souvent, en des points très voisins, des différences énormes dans le régime et la grandeur de la marée. Mais toutes les observations que l'on possède sont faites sur le rivage même, on ignore absolument ce qui se passe au large et comment l'onde se transforme en arrivant à la côte. Lors même que l'on peut faire des observations dans une île, on peut être certain que la surélévation du fond qui lui sert de base apporte une perturbation à la propagation de l'onde; la présence même de l'île peut donner lieu à des phénomènes d'interférences qui modifient la marée. La question est des plus intéressantes au point de vue de la théorie pure, au point de vue de l'étude de la formation des courants de marée, enfin au point de vue de la réduction des sondes faites au large à un niveau fixe.

L'instrument fonctionne au fond de l'eau, et il indique les variations de hauteur en enregistrant les variations de pression. C'est donc un véritable manomètre enregistreur, mais un manomètre remplissant des conditions spéciales. Il faut qu'il soit d'un très petit volume, qu'il fonctionne sans aucune surveillance de façon à donner autant de garanties que l'enregistrement aura lieu qu'un appareil mécanique peut en donner. Il serait en effet, très préjudiciable d'être obligé de recommencer un travail de sondes

Digitized by Google

de plusieurs jours, faute des éléments nécessaires à leur réduction. Il faut qu'il soit très robuste, car il devra résister aux chocs impossibles à éviter dans les opérations d'immersion et d'émersion qui ne pourront toujours se faire par beau temps. Il faut, enfin, qu'il soit d'une grande précision, car il s'agit d'enregistrer des variations de pression atteignant, dans des conditions moyennes, une dizaine de mètres d'eau, et il faut chercher dans l'enregistrement lui-même une précision de 1^{cm} à 2^{cm} pour obtenir pratiquement, vu les autres causes d'erreurs, une approximation de 5^{cm}. Aucun des instruments enregistreurs actuellement en usage n'est apte à remplir ces conditions.

L'organe sensible à la pression employé dans le nouvel instrument est la capsule à parois ondulées des baromètres anéroïdes. Mais l'élasticité de lames ou de tubes métalliques ne permet d'obtenir que des mouvements d'une très petite amplitude, si l'on veut rester dans des dimensions pratiques. Des systèmes plus ou moins compliqués de leviers, d'engrenages ou de poulies, sont d'ordinaire employés pour rendre ces mouvements mesurables, mais ces systèmes sont tous peu précis et fragiles : peu précis parce qu'ils modifient, souvent dans une proportion notable, la loi du mouvement et à cause du jeu que l'on est obligé de laisser dans les divers organes; fragiles, parce que l'inertie des diverses pièces est considérable par rapport à leur résistance et à celle des pivots qui doivent être très fins pour éviter l'influence du frottement.

Enfin, les divers modes d'inscription, plumes, crayons, etc., sont d'un fonctionnement peu sûr s'ils doivent être soumis à des chocs et si l'on ne peut les surveiller constamment.

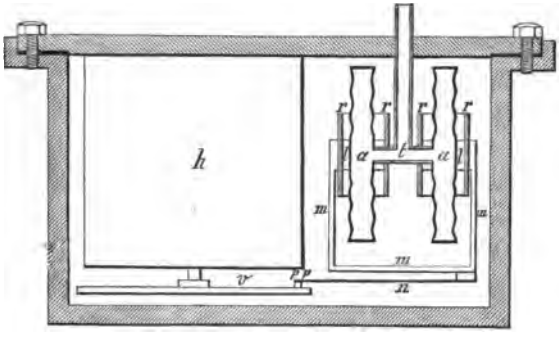
Dans le nouvel instrument, le mouvement du centre des capsules s'enregistre directement, et la lecture des tracés s'effectue non plus par une amplification obtenue au moyen d'organes mécaniques, mais par un procédé optique. On amplifie les tracés avec un microscope et l'on mesure les mouvements avec une vis micrométrique. Ce procédé peut s'appliquer à deux conditions : la première, c'est que l'on dispose d'une force assez grande pour que les frottements nécessaires pour obtenir les tracés ne modifient pas sensiblement le mouvement; la seconde, c'est que ces tracés soient assez nets et assez fins pour que la précision des pointés soit suffisante. Ces deux conditions peuvent être remplies.

Digitized by Google

Voici la disposition de l'appareil construit par M. Démichel :

Deux capsules de baromètre anéroïde *aa*, à parois ondulées, représentées en coupe sur la *fig.* 1, sont fixées par l'une de leurs faces à un tube *t*, qui fait communiquer l'intérieur des capsules avec la mer.

Fig. 1.



Les deux faces extérieures des capsules s'écartent lorsque la pression augmente à l'intérieur en faisant fléchir les fortes lames de ressorts *rrrr*, contre lesquelles elles s'appuient par l'intermédiaire des pièces *ll*; ces lames sont vues en coupe par la tranche sur la figure. Leur disposition est analogue à celle des ressorts des dynamomètres de traction. Deux pièces de laiton coudées *mm*, fixées sur ces lames, portent deux ressorts très minces *n*, se projetant l'un sur l'autre sur la figure. A l'extrémité de ces ressorts sont fixées deux pointes *pp* qui participent ainsi au mouvement des parois des capsules, tout en étant légèrement appuyées par les ressorts qui les portent sur la surface d'un disque de verre *v*, qu'un mouvement d'horlogerie, contenu dans la boîte *h*, fait tourner. Tout l'appareil est enfermé dans une boîte, dont on rend la fermeture étanche, au moyen de cuir, que l'on enduit d'un mastic de céruse, avant de serrer fortement le couvercle, au moyen de boulons.

L'étanchéité ainsi obtenue est complète, et l'instrument ne souffre en rien de son séjour au fond de la mer.

La surface du disque du verre est recouverte d'un enduit dont la composition sera indiquée plus loin. Les deux pointes s'écartent lorsque la pression augmente, et tracent deux traits dont la distance varie proportionnellement à la pression et, par suite, à la

Digitized by Google

hauteur de l'eau qui surmonte l'appareil. L'amplitude du mouvement des pointes est très petite par rapport au diamètre du disque.

Voici les raisons qui font employer deux pointes, alors qu'il semble qu'une seule dont la distance au centre du disque varierait, avec la pression, pourrait suffire. Le centrage du disque ne peut être rigoureusement exact, et le jeu de l'axe, quelque réduit qu'on le suppose, permet des déplacements qui sont de l'ordre de grandeur des longueurs qu'il s'agit de mesurer. L'écartement des traits n'est en effet, dans cet appareil, que de 5^{mm} pour 10^{m} d'eau, soit 5 microns pour 1^{cm}. On pourrait placer à côté de la pointe mobile une pointe fixe et mesurer la distance des deux traits; mais cette disposition aurait un inconvénient.

Si l'on peut réduire à des dimensions extrêmement petites l'amplitude du mouvement dans le sens du rayon, il est impossible de le réduire dans les mêmes proportions dans le sens de la rotation, car les engrenages ne peuvent, à cause de l'imperfection de leur taille, donner un mouvement rigoureusement proportionnel au temps. Les inégalités dans le mouvement donnent des erreurs dans la lecture de l'heure d'autant plus grandes que l'angle correspondant à un temps donné est plus petit, que la rotation est plus lente.

Si l'on veut que l'appareil puisse fonctionner pendant une semaine au moins, ce qui est pratiquement indispensable, il faut, pour que la mise à l'heure et la lecture de l'heure présentent une exactitude suffisante, malgré les inégalités de mouvement tenant à l'imperfection des engrenages, et malgré le jeu de l'axe donnant naissance à une excentricité, que le disque fasse plusieurs tours pendant ce temps.

Dans ce cas, la pointe fixe tracerait, ou bien toujours le même cercle si le mouvement de l'axe était nul, ou bien des traits très voisins, et l'on n'aurait aucun moyen de distinguer lequel de ces traits se rapporte à un instant donné.

Avec deux pointes mobiles en sens contraires les deux courbes ont une sorte de symétrie, et, bien qu'elles se coupent sous des angles très petits, on peut les suivre dans leurs croisements sans trop de difficulté.

Pour que l'eau de mer ne pénètre pas dans les capsules, et ne

Digitized by Google

vienne pas les oxyder, elles ne communiquent pas directement avec la mer, mais elles sont remplies de pétrole bien purifié et la pression se transmet par l'intermédiaire d'une membrane assez souple pour ne pas la modifier sensiblement.

L'inscription directe d'un mouvement d'aussi faible amplitude ne peut être appliquée qu'à deux conditions. La première, c'est que la force dont on dispose soit suffisante pour que le frottement nécessaire pour produire les traits ne modifie pas le mouvement d'une façon appréciable. Cette première condition est remplie, car, pour des capsules ayant environ 8^{cm} de diamètre, la force nécessaire pour produire un mouvement équivalent à une pression de 1^{cm} d'eau est d'environ 25^{gr}. Le frottement de départ de l'une des pointes sur le disque de verre n'est que d'environ 1^{gr}.

La seconde condition, c'est que les traits soient suffisamment fins pour se prêter à des pointés très précis. On a employé d'abord des disques de verre argentés par le procédé Foucault-Martin.

On obtient ainsi à peu de frais des surfaces métalliques parfaitement planes et parfaitement polies, sur lesquelles un frottement très faible suffit pour produire des traits très nets et très fins, l'argenture étant suffisamment épaisse pour que les pointes ne pénètrent pas jusqu'au verre, mais rayent seulement la surface du métal. Malheureusement les traits sont assez difficiles à éclairer, au moins à bord et dans les conditions d'installation précaire où l'on se trouve, en général, pendant les campagnes hydrographiques. De plus, la surface noircit rapidement sous l'influence d'émanations sulfureuses, et les traits deviennent difficiles à voir.

Des traits visibles par transparence sont bien préférables ; mais il faut faire usage d'un enduit assez tendre pour qu'un frottement léger des pointes l'entame, et assez dur pour que le moindre contact accidentel n'enlève pas toute trace des traits, comme cela aurait lieu pour le noir de fumée, par exemple. La plupart des nombreuses substances qui ont été essayées, ou bien forment des éclats sur le bord des traits qui ne sont pas suffisamment purs, ou bien encrassent les pointes qui font alors des traits allant en s'élargissant d'une façon inacceptable. Seules, quelques couleurs d'aniline nous ont donné des résultats satisfaisants. Plusieurs violets, en particulier, sont, au point de vue de la finesse des traits, utilisables. Mais les violets qui réussissent, sans être hygrométriques,

Digitized by Google

sont très solubles dans l'eau, et la moindre condensation d'humidité sur le verre, celle qui provient, par exemple, de l'approche des doigts moites, produit des taches et peut effacer les traits.

L'azotate de rosaniline, qui est très peu soluble dans l'eau et n'offre pas ces inconvénients, se prête à des tracés dont la finesse n'est limitée que par celle que l'on peut obtenir pour les pointes. On en fait une dissolution saturée dans de l'alcool à 95°, soit $2^{gr},2$ d'azotate pour 100^{cc} d'alcool, et l'on ajoute 10^{cc} d'éther. Cette solution est versée sur le disque légèrement chauffé tenu d'abord horizontalement. Lorsque la surface est couverte, on le renverse verticalement et on le présente devant un feu ardent, en essuyant rapidement et constamment le liquide qui s'amasse à la partie inférieure sur la tranche.

La couche ainsi obtenue sèche en quelques secondes et est uniforme. On peut en faire varier l'épaisseur en augmentant ou en diminuant la proportion d'éther.

Si nous avons insisté autant sur ce point, c'est que des surfaces ainsi préparées pourront trouver d'autres applications pour l'enregistrement direct de mouvements très petits et être utilisées pour l'étude d'un très grand nombre de phénomènes.

Voici quel est le maniement de l'appareil. On remonte le mouvement d'horlogerie, on place le disque sur l'axe et on met à l'heure, au moyen de l'index qu'il porte, sur un cadran contre lequel il vient s'appliquer ; on déclenche les pointes qui viennent frotter sur le disque. On met l'appareil dans sa boîte et on serre les boulons ; la rondelle de cuir qui doit assurer l'étanchéité a été préalablement enduite avec soin d'un mastic de céruse. On immerge l'appareil et on amarre, sur la ligne qui sert à le descendre au fond, une bouée destinée à maintenir l'extrémité de cette ligne à la surface et à la retrouver.

Pour faire les lectures, on place le disque sur le micromètre qui porte un second cadran dont les heures correspondent à celles du cadran de l'appareil. On peut alors mesurer au moyen de la vis qui fait mouvoir le microscope suivant un rayon, en pointant successivement deux traits correspondants, la pression à un instant donné.

Nous avons dit que l'instrument pouvait servir à la détermination des marées au large, à grande distance des côtes, ce qui exige

Digitized by Google

qu'il puisse être immergé à de grandes profondeurs. Or l'appareil tel qu'il est construit ne peut supporter des pressions allant au delà d'une atmosphère ; la limite d'élasticité des capsules serait dépassée, et l'instrument serait mis hors de service.

D'autre part, il y aurait des inconvénients à augmenter l'épaisseur de ces capsules, car, à moins d'augmenter également leurs dimensions, ce serait aux dépens de la sensibilité. Il est essentiel, cependant, de la conserver aussi grande que possible, puisqu'il s'agit de mesurer de très petites variations d'une hauteur d'eau considérable. La boîte renfermant l'appareil devrait avoir une épaisseur énorme pour résister aux pressions. Mais on peut tourner ces difficultés par un artifice spécial et conserver à l'appareil toute sa sensibilité à des profondeurs théoriquement illimitées.

Remarquons, en effet, que l'appareil indique les différences de pression entre l'intérieur des capsules manométriques et l'intérieur de la boîte qui les renferme. Plaçons l'instrument sous une cloche pleine d'air (*fig.* 2) faisons communiquer l'intérieur des capsules *aa* et l'intérieur de la boîte *b* avec la partie supérieure de la cloche, au moyen de deux tubulures de longueur suffisante et immergeons le tout. Les pressions à l'intérieur de la boîte et à l'intérieur des capsules augmenteront de la même quantité et l'instrument restera au zéro quelle que soit la profondeur atteinte. Remarquons en passant que la pression, à l'intérieur de la boîte, restera, à la hauteur d'eau près qui montera dans la cloche, égale à la pression extérieure et que nous n'aurons pas besoin de donner à ses parois non plus qu'à celles de la cloche une résistance considérable.

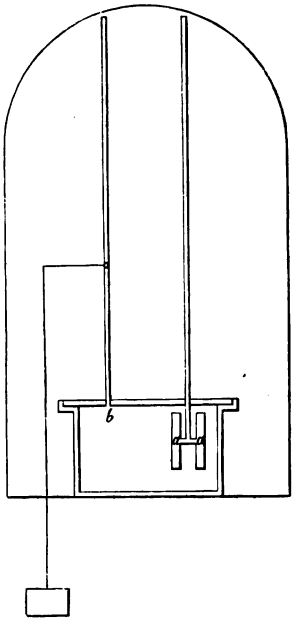
Si, à une profondeur quelconque, on ferme la communication avec l'intérieur de la boîte, la pression va y rester constante, tandis qu'elle continuera à augmenter dans l'intérieur des capsules, et l'instrument va commencer à fonctionner comme si toute la couche d'eau supérieure n'existait pas. Lorsqu'il reposera au fond, il indiquera les variations de la hauteur de l'eau comme s'il était immergé à une profondeur égale à la hauteur dont il est descendu depuis qu'on a fermé la communication.

Il est important de produire la fermeture à une distance du fond qui n'excède pas la hauteur maxima d'eau que peut supporter l'appareil. Cette condition est facilement remplie au moyen d'une

Digitized by Google

fermeture automatique. Il suffit d'installer sur la tubulure un robinet se fermant de lui-même au moyen d'un ressort et maintenu ouvert par l'action d'un poids contrebalançant celle du ressort. Ce poids est suspendu à une chaîne dont la longueur est convenablement réglée; lorsqu'il touche le fond, la communication se

Fig. 2.



ferme et l'appareil commence à fonctionner. Lorsqu'on relève l'appareil, la communication est rouverte dès que le poids quitte le fond, et l'air comprimé dans la boîte peut s'échapper.

Pour éviter toute chance d'introduction de l'eau dans l'intérieur de la boîte, le fond de la cloche est occupé par un ballon de caoutchouc que l'on remplit d'air; le tube qui le met en communication avec l'intérieur de la boîte sort à l'extérieur de la cloche sur une partie de sa longueur, et une pince à ressort vient, lorsque l'action du poids cesse, le presser fortement, ce qui ferme la communication.

Les lectures doivent être corrigées de l'influence des changements de température qui font varier la pression de l'air dans la

Digitized by Google

boîte et modifient l'élasticité des ressorts. Des observations thermométriques faites dans le voisinage de l'appareil suffisent, en général, pour effectuer ces corrections. Dans le cas où une très grande précision serait nécessaire, il serait facile d'enregistrer sur le disque les variations de température à côté des marées. Les variations de la pression barométrique doivent être déduites des indications de l'appareil. Enfin il y a lieu de repérer ces indications par rapport à un niveau fixe; on peut employer pour cela, suivant les circonstances, divers procédés.

L'appareil indique les variations de la pression dans un liquide en mouvement; il y a lieu d'examiner à quelles conditions ces pressions sont bien celles qui sont dues à la hauteur de l'eau, comme à l'état statique. Il y a d'abord à considérer l'action des mouvements horizontaux dus à la marée; les courants qui en résultent atteignent assez rarement des vitesses de 2^m à 3^m par seconde. Ce mouvement a une action perturbatrice dépendant de la forme de l'orifice par lequel se transmettent les pressions et de son orientation par rapport au courant. C'est l'effet utilisé dans le tube de Pitot et dans les instruments qui en dérivent. Pour un courant de 3^m et un orifice dirigé dans le sens opposé au courant, la pression subit une augmentation de 40^{cm} environ.

Il résulte des expériences de M. Ritter, ingénieur des ponts et chaussées, que l'on peut éviter cet effet d'une façon complète au moyen de dispositions diverses ayant pour objet de diriger les filets d'eau parallèlement à la paroi dans laquelle est percé l'orifice. On obtient ainsi des ajutages dits statiques, au moyen desquels le mouvement de l'eau ne produit ni augmentation ni diminution de pression. Il suffit, si on opère dans des parages où les courants sont violents de munir l'appareil d'un ajutage de cette sorte; par exemple d'un tube vertical portant perpendiculairement à son extrémité deux disques minces, distants de quelques millimètres, l'orifice étant percé au centre de l'un des disques.

Indépendamment de cet effet, résultant de la présence d'un obstacle, on peut se demander si une masse d'eau douée d'un mouvement horizontal exerce une pression proportionnelle à son épaisseur. Or l'un des principes sur lesquels s'appuie l'Hydrodynamique s'énonce ainsi : lorsque, dans un liquide parfait, chaque molécule possède un mouvement rectiligne et uniforme, la pres-

Digitized by Google

sion varie d'un point à un autre suivant la loi hydrostatique.

Mais il y a encore des mouvements verticaux à considérer. Les uns, dus aux ondes de la marée, sont très lents ; les autres, dus aux lames, sont également périodiques, mais beaucoup plus rapides.

Il est facile de voir que les variations de la pression statique accompagnant des mouvements verticaux aussi lents que ceux qui sont dus à la marée sont très faibles. Quant au mouvement des lames, la question est plus complexe. On doit réduire suffisamment la section du tube par lequel les pressions se transmettent pour que les variations rapides soient atténuées et qu'on n'enregistre que la moyenne. On démontre, dans la théorie de la houle se propageant dans une eau très profonde, d'une part, que l'amplitude des mouvements d'une molécule d'eau diminue très rapidement et devient insensible à une profondeur relativement faible ; d'autre part, qu'à cette profondeur, la pression est bien la pression statique qui existerait si la surface était en repos.

La théorie des lames se propageant dans des petits fonds n'est pas assez avancée pour qu'on puisse se rendre exactement compte de ce qui se passe dans ce cas ; mais il faut remarquer : d'abord qu'aucun marégraphe, même ceux qui enregistrent directement les variations de hauteur de l'eau dans un tube communiquant avec la mer, n'est exempt de cette cause d'erreur ; en second lieu, que le nouvel appareil est particulièrement apte, vu la faible masse de ses organes, à servir, avec des modifications appropriées, à élucider certains problèmes d'Hydrodynamique se rapportant aux vagues. Le modèle qui a été construit a été fait pour l'enregistrement des marées normales, mais il serait facile d'augmenter sa sensibilité pour d'autres observations.

Digitized by Google

Sur la compressibilité des fluides dans les phénomènes explosifs;

PAR M. VIEILLE.

Les résultats des expériences récentes relatives à la compressibilité des fluides sont représentés avec une approximation remarquable par les formules connues de Van der Waals et de Clausius. La formule de Clausius en particulier, avec les modifications qu'y a introduites M. Sarrau, permet de relier les compressibilités d'un fluide à l'état gazeux et à l'état liquide. Ces formules font prévoir, d'autre part, des relations générales applicables à tous les corps dont l'exactitude a été l'objet de vérifications expérimentales récentes.

On est donc conduit à attribuer à ces formules une portée plus grande que celle qui s'attacherait à de simples relations empiriques et à penser qu'elles sont applicables dans des limites beaucoup plus étendues que celles entre lesquelles elles ont été établies.

Un cas limite dans lequel ces formules se réduisent à une expression particulièrement simple est celui dans lequel on considère des températures très élevées et une grande condensation du fluide.

Que l'on parte de la formule de Van der Waals

$$p = \frac{RT}{V - \alpha} - \frac{k}{V^2},$$

ou de la formule de Clausius sous la forme que lui a donnée M. Sarrau

$$p = \frac{RT}{V - \alpha} - \frac{K\varepsilon^{-T}}{(V + \beta)^2},$$

on voit que, pour de grandes valeurs de T et des valeurs de V se rapprochant de α, ces formules se réduisent à leur premier terme $p = \frac{RT}{V - \alpha}$, relation qui ne diffère de l'équation caractéristique des gaz parfaits que par la substitution au volume V du fluide d'un volume plus petit d'une quantité constante α qu'on appelle le covolume du fluide.

Les conditions normales de la décomposition des explosifs sont

Digitized by Google

précisément celles qui correspondent à l'application de cette formule limite. On sait, en effet, que les températures de réaction des explosifs atteignent plusieurs milliers de degrés et que la condensation des produits de la décomposition, qui n'est limitée que par la résistance des récipients, peut atteindre de grandes valeurs.

L'étude du mode de décomposition des explosifs montre, d'autre part, que, dans des limites étendues de condensation gazeuse, les produits de la décomposition ne présentent que des variations très faibles et d'une nature telle que la température de la réaction peut être considérée comme constante.

L'étude des réactions explosives se prête donc à des vérifications de la formule limite de compressibilité $p = \frac{RT}{V - \alpha}$. Ces vérifications peuvent porter soit directement sur la forme de la relation qui lie les pressions développées en vase clos par un explosif au volume occupé par les produits de la décomposition, soit indirectement sur les conséquences que l'on peut déduire de la formule limite $p = \frac{RT}{V - \alpha}$ concernant les phénomènes de propagation.

Vérifications directes. — La mesure des pressions produites en capacité close par les explosifs présente des difficultés qui tiennent à la grandeur de ces pressions et à la rapidité avec laquelle elles se modifient sous l'influence du refroidissement. Ces pressions se développent par la combustion de la charge en quelques millièmes de seconde et elles ne subsistent, sans altération sensible résultant du refroidissement, que pendant des durées de même ordre. On parvient à les enregistrer au moyen de manomètres spéciaux dits *crushers*, dans lesquels un cylindre de cuivre de masse très faible est écrasé par un piston de section connue, soumis à l'action de la pression et de masse également assez faible pour que les forces d'inertie n'interviennent pas d'une façon appréciable dans l'équilibre final. La figure ci-contre suffit à faire comprendre la disposition très simple de cet appareil.

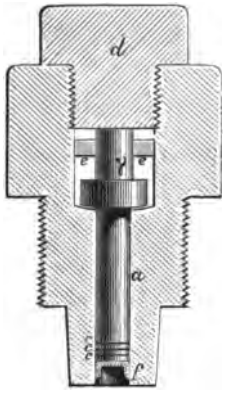
Les premières mesures d'ensemble effectuées dans ces conditions ont été réalisées par deux savants anglais, MM. Noble et Abel. Ils ont trouvé que les pressions développées par la décomposition de la poudre noire étaient liées à la densité moyenne des produits de la combustion par une expression de la forme

Digitized by Google

$p = \frac{f\Delta}{1 - \alpha\Delta}$, Δ désignant la densité moyenne de ces produits, f et α deux constantes qui sont déterminées par les expériences.

Cette formule a été établie indépendamment de toute préoccupation théorique ou, plus exactement, MM. Noble et Abel ont vu, dans le facteur $1 - \alpha\Delta$, l'influence des résidus solides qui résultent de la décomposition de la poudre noire.

Fig. 1.



Les expériences analogues relatives aux autres explosifs et, en particulier, aux matières organiques telles que le coton-poudre, la nitroglycérine, l'acide picrique, qui fournissent des produits exclusivement gazeux, ont toutes conduit à des relations identiques. C'est à M. Sarrau qu'on doit d'avoir donné à cette forme de la relation sa signification théorique et montré qu'elle constituait une vérification des formules générales de compressibilité.

En effet, l'expression limite $p = \frac{RT}{V - \alpha}$, rapportée à l'unité de poids du fluide en posant $V = \frac{1}{\Delta}$, se réduit au type $p = \frac{RT\Delta}{1 - \alpha\Delta}$, et, comme T reste constant dans les différentes expériences relatives à un même explosif d'après la remarque que nous avons faite plus haut, on voit que l'expression se réduit à la forme indiquée par l'expérience.

Les nombres suivants relatifs au coton-poudre aggloméré permettent d'apprécier le degré d'exactitude de la formule, et mettent en évidence le rôle considérable du covolume dans la loi d'accrois-

Digitized by Google

sement des pressions produites en vase clos par des charges croissantes d'explosif.

Densité moyenne des produits.	Nombre des déterminations.	Pressions en kilogrammes par centimètre carré observées.	Pressions en kilogrammes par centimètre carré calculées.	
0,10	2	1060	1063	$p = \frac{9565\Delta}{1-\Delta}$
0,20	4	2401	2391	$f = 9565$
0,30	2	4093	4099	$\alpha = 1,00$

Il y a donc là une première vérification qualitative des formules de compressibilité.

MM. Mallard et Le Chatelier sont allés plus loin et ont montré qu'il y avait vérification quantitative. Dans l'expression $p = \frac{RT\Delta}{1-\alpha\Delta}$, les éléments du second membre peuvent être considérés comme connus.

Le covolume α a été déterminé par M. Sarrau pour la plupart des produits de la décomposition des explosifs, à l'aide des nombres résultant des expériences de M. Amagat.

La constante $R = \frac{p_0 v_0}{273}$ est connue lorsque le mode de décomposition de l'explosif, et par suite le volume spécifique des produits, est déterminé. Enfin, MM. Mallard et Le Chatelier ont pu calculer la température de réaction en partant des données calorimétriques et de la loi d'accroissement des chaleurs spécifiques aux hautes températures, qui résultait de leurs expériences sur les mélanges gazeux détonants. Ils ont ainsi montré que les valeurs des pressions calculées reproduisent avec une grande fidélité les nombres fournis par les mesures directes au moyen des manomètres crushers; inversement, ces valeurs expérimentales peuvent servir au contrôle de la loi de variation des chaleurs spécifiques des fluides aux températures élevées.

Vérifications indirectes. — L'étude des phénomènes explosifs permet d'aborder la vérification de la formule limite $p = \frac{RT}{V-\alpha}$ par une tout autre méthode, fondée sur l'analyse des phénomènes de propagation.

On sait que la vitesse de propagation d'un ébranlement assez

Digitized by Google

petit pour qu'on puisse négliger le carré des dilatations est donnée pour un fluide quelconque par l'expression

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}},$$

E désignant l'élasticité du milieu et ρ sa densité.

Le rapport $\frac{dp}{d\rho}$ dépend des conditions de la compression élémentaire et il existe une relation entre les valeurs de ce rapport correspondant aux deux cas limites de la compression adiabatique et de la compression isotherme. Ces valeurs sont entre elles comme le rapport des chaleurs spécifiques $\frac{C}{c}$ à pression constante et à volume constant du fluide dans l'état où il se trouve au moment de la compression.

Il est évident que, dans les phénomènes rapides de propagation relatifs aux explosifs dont les produits de décomposition sont gazeux et peu conducteurs, c'est la vitesse de propagation correspondant à une compression élémentaire adiabatique qui doit être considérée. Cette vitesse prend la forme

$$V = \sqrt{\frac{C}{c}\left(\frac{dp}{d\rho}\right)i}$$

$\left(\frac{dp}{d\rho}\right)i$ désignant, d'après la remarque ci-dessus, la valeur du rapport dans une transformation isotherme. Si le fluide est dans les conditions de haute température et de grande condensation auxquelles la loi limite de compressibilité est applicable, le rapport $\left(\frac{dp}{d\rho}\right)i$ se déduit immédiatement de l'équation

$$p = \frac{RT}{V - \alpha} = \frac{f\Delta}{1 - \alpha\Delta},$$

qui représente la transformation isotherme et l'on a

$$\left(\frac{dp}{d\rho}\right)i = \frac{fg}{(1 - \alpha\Delta)^2},$$

d'où

$$V = \frac{\sqrt{gf\frac{C}{c}}}{1 - \alpha\Delta}.$$

Digitized by Google

Cette relation met en évidence l'accroissement rapide de la vitesse de propagation avec la condensation du fluide.

Elle montre que, si l'on suppose que la densité du fluide se rapproche de l'inverse du covolume, la vitesse de propagation, au lieu de rester constante comme dans les gaz parfaits, doit croître au delà de toute limite.

Nous nous sommes proposé de vérifier ces conséquences en utilisant certains phénomènes spéciaux que présente la décomposition des explosifs.

Lorsqu'on provoque la combustion d'un explosif dans une capacité close, la densité des produits de la décomposition s'élève progressivement d'une valeur nulle à la valeur correspondant à l'entière décomposition de la charge et à sa répartition uniforme dans le volume du récipient. Le mode de décomposition n'étant pas influencé par la pression dans des limites étendues, la réaction s'opère à température constante. C'est pendant cette courte période de transformation et pendant les quelques millièmes de seconde qui la suivent, où l'influence du refroidissement reste négligeable, qu'on peut se proposer d'étudier les phénomènes de propagation dans des conditions de milieu auquel l'équation limite de compressibilité est applicable.

Il paraît difficilement praticable de faire naître et d'enregistrer dans une période aussi courte des condensations gazeuses, par les procédés utilisés dans les expériences classiques de Regnault ou dans les recherches récentes de M. Violle; mais les explosifs se chargent d'amorcer et d'entretenir automatiquement, par des dispositions convenables, des phénomènes ondulatoires dont il ne reste plus qu'à mesurer la vitesse de propagation.

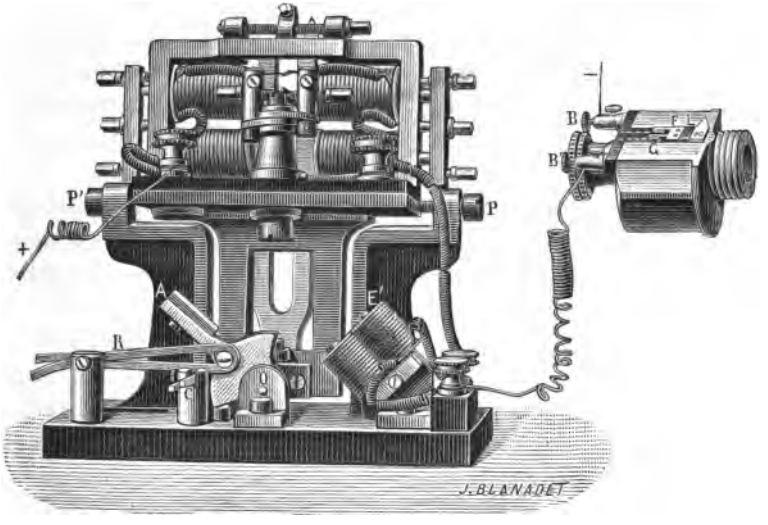
Voici dans quelles conditions ces phénomènes se produisent :

Considérons une éprouvette longue de 1^m environ, formée d'un tube cylindrique de grande épaisseur, susceptible de résister à des pressions de plusieurs milliers d'atmosphères. Les deux extrémités de ce tube sont filetées et reçoivent des bouchons en acier munis de manomètres crushers dont les indications sont enregistrées d'une façon continue sur un cylindre tournant, dont l'axe est parallèle à l'axe de l'éprouvette. A cet effet, les pistons écraseurs portent des plumes en acier qui tracent sur le cylindre tournant et inscrivent en vraie grandeur parallèlement à ses généra-

Digitized by Google

trices leurs déplacements, c'est-à-dire l'écrasement des cylindres de cuivre à chaque instant. Les tracés recueillis sur le cylindre tournant pendant la combustion d'une charge explosive dans l'éprouvette fournissent immédiatement, si l'explosif présente une combustion suffisamment lente, la loi de développement des pressions à chaque extrémité de l'éprouvette, en fonction du temps.

Fig. 2.



On reconnaît, en effet, par la lecture des tracés considérés comme représentant la loi du mouvement des pistons, que les forces d'inertie sont à tout instant négligeables; dans les conditions de nos expériences, ces forces ne dépassent pas quelques centaines de grammes, les pressions appliquées au piston atteignant des centaines et des milliers de kilogrammes. Il en résulte qu'à tout instant la résistance opposée par le cylindre de cuivre à chacun de ses degrés d'écrasement fait très exactement équilibre à la pression intérieure qui s'exerce sur la base du piston. On sait, d'autre part, que la résistance de ces petits cylindres de cuivre est une fonction linéaire de l'écrasement; par suite, les ordonnées des tracés recueillis mesurent, à chaque instant, à une constante près, la valeur de la pression à chaque extrémité de l'éprouvette,

Digitized by Google

et ces tracés mettent en évidence toute perturbation dans la loi de développement des pressions.

Si la charge est uniformément répartie suivant l'axe de l'éprouvette, sa combustion donne lieu à deux tracés identiques enregistrés aux extrémités du tube; ces tracés à longue inflexion présentent une continuité complète. Si, reprenant l'expérience avec la même charge, on la condense à l'une des extrémités du récipient, on observe une loi de développement des pressions entièrement différente.

Les courbes continues de l'expérience précédente sont remplacées par des tracés formés d'une série de paliers presque rectilignes, raccordés par des ressauts brusques et sensiblement équidistants. La *fig.* 3 est la reproduction photographique en vraie grandeur de deux tracés obtenus dans ces conditions.

La pression s'exerce donc aux extrémités de l'éprouvette par à-coups brusques et rythmés, séparés par des intervalles pendant lesquels, le cylindre cessant de s'écraser, la pression reste constante ou est décroissante.

Si l'on rapproche les tracés obtenus à chaque extrémité de façon à mettre en coïncidence les points enregistrés au même instant, on reconnaît que les périodes des à-coups sont identiques et qu'un à-coup brusque à l'une des extrémités s'intercale exactement au milieu de deux à-coups semblables à l'extrémité opposée.

Les condensations de même signe aux deux extrémités de l'éprouvette sont donc alternées, et nous retrouvons tous les caractères du mouvement vibratoire d'une colonne gazeuse, dont les deux extrémités sont des nœuds.

L'origine de ce mouvement vibratoire s'explique aisément. Sous l'influence de l'inflammation, la charge réunie à l'une des extrémités du tube devient le siège d'une émission intense, déterminant la mise en mouvement d'une colonne gazeuse à grande vitesse qui s'écoule vers l'extrémité opposée. Cette colonne, continuellement arrêtée par le fond de l'éprouvette, doit éteindre sa force vive dans un travail de compression réciproque des tranches, d'où résulte la mise en mouvement vibratoire de la masse. Ce mode d'excitation ne diffère pas essentiellement de celui qui est ordinairement appliqué aux tuyaux sonores. Dans ces tuyaux, c'est à la force vive d'une masse gazeuse injectée à la partie inférieure qu'est empruntée

Digitized by Google

l'énergie nécessaire pour exciter et entretenir le mouvement vibratoire. Mais, dans ce cas, le biseau du tuyau constitue une sorte de déversoir qui permet à la densité moyenne de la colonne de rester constante, tandis que, dans la combustion de l'explosif, la totalité des gaz injectés reste dans l'éprouvette et accroît progressivement la densité moyenne du milieu.

Fig. 3.

Si la durée de la combustion de l'explosif est suffisamment grande par rapport à la période du mouvement vibratoire, la densité moyenne des produits de la combustion ne subira que des variations faibles pendant plusieurs périodes, dont la durée sera liée à la vitesse de propagation correspondant à ce degré de condensation par la formule $\tau = \frac{2L}{V}$, si la colonne gazeuse rend le son fondamental. La densité croissant progressivement par la combustion de la charge, la vitesse V de propagation doit croître, ainsi que nous

Digitized by Google

l'avons vu plus haut, tandis que la période du mouvement vibratoire doit diminuer de plus en plus. Nous prendrons comme exemple une expérience portant sur une poudre très lente formée de coton-poudre aggloméré.

La combustion s'est effectuée en $\frac{25}{1000}$ de seconde.

Les tracés (*fig.* 3) se composent chacun d'une série de douze paliers raccordés par des ressauts brusques. La densité moyenne des produits à la fin de la combustion était 0,25. Les pressions finales, enregistrées aux deux extrémités de l'éprouvette, sont 2758^{kg}, 2765^{kg} par centimètre carré pratiquement identiques. Les ressauts correspondent à des accroissements brusques de 150^{kg} environ.

La période moyenne des ressauts successifs est de $1^{mm},98$, exactement la même pour les deux tracés. Mais ces intervalles décroissent régulièrement du début à la fin de la combustion. On trouve pour les cinq premiers intervalles de chaque tracé $2^{mm},15$ et $2^{mm},14$, pour les cinq derniers $1^{mm},86$ et $1^{mm},85$, et cette variation de 15 pour 100 est dans le sens prévu par la théorie.

Ce mode de fonctionnement est général; on l'observe dans la combustion de tous les explosifs, dans les éprouvettes closes comme dans les armes à feu, toutes les fois que, par suite d'une dyssymétrie dans l'émission, les masses gazeuses prennent des vitesses importantes.

L'amplitude du mouvement oscillatoire dépend de l'intensité de l'émission gazeuse de l'explosif, c'est-à-dire de sa vivacité. Avec les poudres lentes du type que nous avons pris comme exemple, les condensations restent faibles et les accroissements brusques de pression de 150^{kg} que nous avons signalés correspondent à des condensations de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{12}$ environ.

Avec les poudres vives, les condensations peuvent atteindre, au contraire, des valeurs énormes, auxquelles correspondent des surpressions dépassant le triple de la valeur normale de la pression répondant à l'entière combustion de la charge. Les tracés montrent, dans ce cas, un premier à-coup de pression du côté où se trouve réunie la charge. Cet à-coup est suivi d'un palier de repos pendant l'inscription duquel un coup de bélier formidable s'inscrit à l'extrémité opposée de l'éprouvette, déterminant, en quelques dix millièmes de seconde, l'écrasement total du cylindre crusher qui se

Digitized by Google

trouve réduit à quelques millimètres d'épaisseur, puis un second coup de bélier s'inscrit du côté de la charge.

Ce genre de tracé ne peut fournir, avec précision, la période du mouvement oscillatoire de la masse gazeuse, parce que, dans ce mode de fonctionnement, les déplacements du centre de gravité de cette masse deviennent tels qu'il en résulte des mouvements sensibles de l'éprouvette, par flexion des supports, malgré les serrages les plus énergiques. Mais on peut précisément utiliser ces mouvements pour étudier, dans ces cas extrêmes, la loi de déplacement de la masse gazeuse.

Il suffit de suspendre librement cette éprouvette en supprimant les manomètres crushers et, d'une façon générale, toute pièce mobile, pour obtenir par l'inscription, sur un cylindre tournant, de la loi du mouvement du centre de gravité de l'éprouvette, la loi du mouvement du centre de gravité de la masse gazeuse, changé de signe et réduit dans le rapport des masses.

Les tracés obtenus (*fig.* 4) mettent en évidence, dans le cas des

Fig. 4.

poudres vives, le même balancement alternatif de la masse gazeuse que l'inscription des appareils crushers avait indiqué dans le cas des poudres lentes, mais ici l'amplitude des oscillations est énorme. Le tracé, dans une expérience sur le coton-poudre à la densité

Digitized by Google

moyenne de $\frac{1}{10}$, nous montre que le centre de gravité de la charge se déplace des $\frac{2}{3}$ de la longueur de l'éprouvette, les vitesses maxima du déplacement atteignent 700^{m}. Dans les périodes de condensation maxima, la différence des pressions exercées sur les fonds de l'éprouvette dépasse 7000^{kg}, soit 1500^{kg} par centimètre carré.

Malgré ces conditions de fonctionnement extrême, le mouvement de la masse gazeuse reste sinusoïdal, et la période du balancement reste très voisine de celle que nous avons observée pour les condensations les plus faibles ne dépassant pas $\frac{1}{10}$.

Nous sommes donc fondé à penser que la période, observée dans ces dernières conditions, ne s'écarte pas de celle qui correspondrait au cas théorique d'un ébranlement très petit, et il nous reste à comparer les résultats expérimentaux avec les nombres fournis par l'expression de la vitesse de propagation $V = \frac{\sqrt{gf\frac{C}{c}}}{1 - \alpha\Delta}$.

Dans cette formule les valeurs f et α sont fournies, pour chaque explosif, par la mesure des pressions développées en vase clos, mais la valeur du rapport $\frac{C}{c}$ n'est pas connue avec précision. On sait seulement que cette valeur, qui est de 1,40 pour les gaz parfaits à la température ordinaire, se rapproche de l'unité, aux très hautes températures, en raison de la variation des chaleurs spécifiques. La présence dans les produits de la décomposition des explosifs de gaz, tels que l'acide carbonique et la vapeur d'eau, ou même de matières liquides ou solides, tend également à rapprocher de l'unité la valeur moyenne du rapport $\frac{C}{c}$ qui intervient dans la formule.

Sans entrer dans une discussion qui permettrait d'assigner au facteur $\frac{C}{c}$ une valeur intermédiaire entre 1,00 et 1,40, nous rapprochons, dans le Tableau suivant, les vitesses théoriques calculées dans les hypothèses extrêmes, des vitesses expérimentales déduites de la période des à-coups de pression observés.

Digitized by Google

Nature de l'explosif.	Δ.	Vitesses théoriques $\frac{C}{c} = 1,40$.	Vitesses théoriques $\frac{C}{c} = 1,00$.	Vitesses observées.
		m	m	m
Coton-poudre.....	0,05	1206	1019	1099
	0,10	1271	1074	1185
	0,15	1364	1153	1270
Poudres noires.....	0,10	657	555	603 à 643
	0,20	706	597	632 à 699

Les nombres expérimentaux sont compris entre les valeurs théoriques limites : ils suivent ces nombres théoriques dans leurs variations résultant, soit de la densité de chargement, soit de la nature de l'explosif.

Cet accord paraît donc constituer une vérification indirecte de l'exactitude de la loi limite de compressibilité.

Ces expériences indiquent, d'autre part, qu'il est possible d'aborder à l'aide des explosifs, l'étude des phénomènes de propagation, dans des conditions de condensation et de température très éloignées de celles qui ont été réalisées jusqu'à ce jour dans les recherches de cette nature.

EXPOSITION DES MARDI 31 MARS ET MERCREDI 1er AVRIL 1891,

à 8 heures très précises du soir.

Moteur à air comprimé de **Popp**.

Éclairage électrique des salles par M. **Cance** et MM. **Sautter, Harlé** et **Cie**.

Le halo des lames épaisses ou halo photographique et les moyens de le faire disparaître..... **M. Cornu.**

La photographie des couleurs..... **M. Lippmann.**

Procédé de soudure du verre et de la porcelaine avec les métaux. — Cryogène, appareil destiné à obtenir de très basses températures par la détente de l'acide carbonique liquide (construit par **M. Ducretet**)..... **M. Cailletet.**

Digitized by Google

Balance de précision	M. **P. Curie.**
Appareils ayant servi à l'étude de la chaleur de vaporisation des gaz liquéfiés	M. **Mathias.**
Appareil pour déterminer le coefficient de pression des thermomètres, construit pour le laboratoire de Physique de la Faculté des Sciences de Paris. — Auge pour la comparaison des thermomètres dans la position horizontale construite pour le Bureau central Météorologique de Roumanie	M. **Huetz.**
Dynamomètre de transmission à lecture directe et enregistrement photographique	M. **Mascart.**
Appareils pour l'étude de la thermo-électricité	MM. **Chassagny** et **Abraham.**
Appareil pour l'électrolyse industrielle de l'eau	M. le commandant **Ch. Renard.**
Chronomètre donnant le millième de seconde	M. **W. Schmidt.**
Poste portatif pour mesures de résistances. — Table de mesures pour la graduation des ampèremètres. — Installation simple de mesures d'isolement. — Appareil pour la détermination des conductibilités des tiges de cuivre cylindriques. — Appareil pour la mesure des faibles résistances. — Etalons de force électromotrice	M. **J. Carpentier.**
Appareil pour la traction des cylindres. — Appareil pour la détermination directe du coefficient de compressibilité des tiges solides. — Appareil pour la compressibilité des fluides.	M. **Amagat.**
Expérience sur la propagation anomale des ondes lumineuses. — Appareil des deux miroirs plan et concave	M. **Gouy.**
Reproduction artificielle du mirage	M. **Macé de Lépinay** et **Pérot.**
Balances de précision munies de l'appareil de projection lumineuse permettant d'obtenir des pesées rapides	M. **A. Collot.**
Le cyclostat, appareil destiné à l'observation d'un mouvement circulaire construit sur les indications de M. **Thury**, présenté par	**La Société Genevoise.**
Pile-Bloc à liquides immobilisés (système de **P. Germain**). — Application de la cellulose aux accumulateurs. — Compteur **Meylan-Rechniewski**	**Société de construction des piles et accumulateurs à liquides immobilisés.**
Harmonium celesta. — Celesta d'orchestre. — Partition **Mustel**	M. **Mustel.**

Digitized by Google

Indicateur de l'état de charge des accumulateurs. — Indicateur avec avertisseur électrique de fin de charge et de décharge. — Nouveau galvanomètre enregistreur **Deprez-d'Arsonval** à coordonnées rectilignes.....	M. **Roux.**
Tableau des courbes d'hystérésis tracées expérimentalement par les élèves.....	**École de Physique et de Chimie.**
Appareil pour contrôler les surfaces planes isolées. — Lunette verticale autocollimatrice pour contrôler les surfaces parallèles. — Lunette horizontale, pour contrôler les surfaces perpendiculaires; les prismes à réflexion totale. — Goniomètre d'atelier, pour l'exécution des prismes de précision. — Cercle divisé pour la mesure des angles dièdres. — Equerre fixe, donnant le 90°. — Équerre à angle variable. — Prismes types de 45°-60°-90°. — Aberromètre à l'usage des Écoles, des Laboratoires. Accessoires. — Appareil pour contrôler les surfaces courbes pendant le travail. — Dispositif pour cintrer les objectifs.	M. **Léon Laurent.**
Modifications nouvelles à la pompe à mercure.....	M. **V. Chabaud.**
Projections stéréoscopiques (système **d'Almeida**).....	M. **Molteni.**
Bitéléphones pour auditions téléphoniques.....	M. **Mercadier.**
Lignes télégraphiques artificielles souterraines et aériennes.	MM. **de Branville** et **Anizan.**
Nouveaux modèles d'ampèremètres et de voltmètres. — Thermomètre métallique à transmission électrique.....	M. **Chibout.**
Appareil à tarer et à vérifier les ressorts de pression des indicateurs à diagrammes.....	M. **V. Lefebvre.**
Olfactomètre fondé sur la diffusion à travers les membranes flexibles	M. **Ch. Henry.**
Explorateur optique de M. **Napoli**, présenté par.....	M. **Desroziers.**
Étuve à température constante de M. le Dr **Roux.** — Colonne à fractionner de MM. **E. Claudon** et **Ch. Morin.** — Autoclaves de M. **Chamberland** pour la stérilisation.....	M. **Wiesnegg.**
Compteurs d'énergie électrique de MM. **Aron, Aubert, Brillé, Clerc, Déjardin-Marès, Frager, Jacquemier, Meylan, Richard, Soulat** et **Thomson-Houston**, présentés par....	M. **Hospitalier.**
Marégraphe plongeur.....	M. **L. Favé.**
Modèle portatif de l'électromètre capillaire de M. **Lippmann.** — Appareil de M. **I.-C. Rohn** pour le tracé des courbes de Lissajous.....	M. **Berget.**
Filtration à stérilisation des liquides organiques par l'acide carbonique liquéfié. — Régulateur électrique de vitesse.	

Digitized by Google

— Appareil pour déterminer l'équivalence mécanique de la chaleur..... **M. d'Arsonval.**

Photopolarimètre de M. **Cornu**, monté azimutalement avec dispositif pour observation de jour et du soir. — Expérience d'interférence avec deux miroirs, un concave et un plan, par M. **Gouy**. — Expérience de M. **Argyropoulos**, sur les vibrations d'un fil de platine, maintenu incandescent par un courant et sous l'influence des interruptions successives de ce courant. — Appareil des trois miroirs de M. **Mascart**. — Projection d'une photographie d'un coup de foudre, M. **Zenger**. — Lampe oxyhydrique avec lentille à base de magnésie, remplaçant le bâton de chaux et pouvant fournir 100 heures de lumière. — Projections d'épreuves stéréoscopiques, relief obtenu au moyen de la lumière polarisée. — Actinomètre enregistreur de M. **Crova**. — Spectromètre de M. **Yvon**. — Appareil de M. **Yvon** pour photographier les spectres. — Colorimètre-appareil aux anneaux colorés **Desains**. — Lampe à acétate d'amyle, avec lanterne spéciale pour essais des plaques photographiques de M. le Général **Sébert**. — Réseaux **Rowland**. — Projection des spectres. — Bandes d'absorption de différentes dissolutions. — Renversement de la raie D. — Polarisation chromatique. — Illusions d'optique..... **M. Ph. Pellin.**

Appareils d'électricité statique..... ..... **M. Boudréaux.**

Cartes magnétiques du bassin de Paris..... .. **M. Moureaux.**

Boîtes de résistance de M. **Chaperon** (construites par M. **de Branville**), présentées par..... ..... **M. Cauro.**

Nouvelle lampe à incandescence (système **Auer**), présentée par **M. de Ferrol.**

Divers appareils destinés à la spectroscopie biologique..... **M. Hénocque.**

Dynamomètre de transmission de 12 chevaux se plaçant entre le moteur et les transmissions et donnant d'une façon continue : 1° l'effort de la courroie en kilogrammes, 2° sa vitesse en mètres par seconde, par deux diagrammes simultanés inscrits sur le même cylindre. Le produit de deux ordonnées donne la puissance à chaque instant. — Dynamomètres de traction sans ressorts. — Type de huit tonnes employé par M. de Mas, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées pour enregistrer l'effort de traction des remorqueurs sur les divers modèles de bateau de transport. — Type de une tonne pour grues, etc. — Type de 300^{kg} pour traction de voitures. — Anémomètre enregistreur à double cylindre, l'un recevant le diagramme de la composante horizontale du vent, l'autre celui de la composante verticale. — Radiomètre ayant un moulinet suspendu à un fil et permettant la mesure de la radiation par l'angle de torsion. — Statoscope ou baromètre à air

Digitized by Google

portatif multipliant par dix les variations de la colonne mercurielle. — Cinémomètre absolu ou indicateur de vitesse effectuant automatiquement la division, par le temps, de l'espace parcouru par un point de la courroie. (Graduation en tours ou en mètres par seconde. Météoroscope **Plumandon** et **Colomès**). — Électrodynamomètre à fil fin, puissant voltmètre avec amortisseur à liquide. — Compteurs d'énergie électrique. Compteurs horaires. — Nouveaux types de voltmètres et ampèremètres à cadrans. — Ampèremètres et voltmètre enregistreurs..... MM. **Richard frères.**

Dynamomètre universel à lecture directe du travail. — Photophone électrique **Hélot-Trouvé** (dernier modèle). — Allumoir universel. — Nouvel appareil galvanocaustique automatique servant de polyscope. — Orymatoscope. — Fraiseuse à main électrique..... M. **Trouvé**.

Microscopes divers..... M. **A. Nachet.**

Myographe dynamométrique (construit par M. Ducretet). M. **Gréhant.**

Appareils du Dr **Hénocque**. — Spath parallèle pour les interférences de **Jamin**. — Prisme de **Thollon** à sulfure de carbone. — Lunette équatoriale pour l'Astronomie. — Ophtalmomètre de **Leroy** et **Dubois**. — Prismes en flint et en crown-glass..... M. **Lutz.**

Machine de **Wimshurst**, construite d'après les conseils de l'auteur; grand modèle des cabinets de physique. — Disques tournants de **Wimshurst**, à rotation inverse, servant à la théorie de cette machine. — Électroscope de **E. Ducretet**; cet appareil nouveau permet de reconnaître rapidement la polarité des boules des conducteurs des machines électriques de **Holtz**, **Woss**, **Wimshurst**, etc., et de tous les corps électrisés. — Machine dynamo de laboratoire, donnant, à volonté, des courants redressés ou alternatifs nécessaires aux expériences de cours et à celles d'**Elihu Thomson**. — Galvanomètre **Thomson**, nouveau modèle **Ducretet** à bobines amovibles, à long fil de suspension et avec *nouvel amortisseur à air* supprimant les oscillations (modèle très sensible). — *Echelle divisée* (modèle de E. D.), *opaque* ou *transparente* à volonté, pour la lecture des déviations d'instruments à miroir. — Tube **Natterer** démontable à robinet *soudé directement* sur *le verre par le procédé* **Cailletet**. — Lampe de **Drummond** à mélange préalable des gaz. Cylindre de magnésie comprimée, réalisant les expériences du Dr **Roux**, éclairage oxyhydrique puissant. — Expériences de MM. de **Fonvielle-Lontin** et d'**Elihu Thomson** sur les répulsions et les rotations électrodynamiques, réalisées avec le *trembleur rapide indépendant* de **E. Ducretet** *et les voltamètres au plomb* de M. **d'Arsonval**, supprimant les effets de l'extra-courant de rupture,

Digitized by Google

Ce dispositif évite l'emploi d'une machine à courants alternatifs pour ces expériences de cours. — *Conjoncteur-disjoncteur* **Fery**, nouveau modèle pour la charge industrielle des accumulateurs..... **M. E. Ducretet.**

Électro-photophore. — Nouvelle lanterne électrique portative ..... **M. Radiguet.**

Écrans colorés pour la photographie..... ..... **M. J. Radiguet.**

Appareil bi-métallique pour la mesure des bases construit par **Brünner**, présenté par..... M. le colonel **Bassot.**

Dédoublement d'une décharge oscillante par l'électro-aimant (Expérience de **Palzow**) ..... **M. Hodin.**

Thermomètres étalons; tiges correctrices pour colonnes émergentes..... **M. Tonnelot.**

Épreuves d'analyse photographique des mouvements des animaux microscopiques..... **M. Marey.**

Aluminium pur et alliages; procédés électrolytiques de (Usine **Bernard** frères, à *Creil*). **M. Adolphe Minet.**

Double calorimètre pour mesures différentielles..... **M. Louguinine.**

Aluminium pur, bronzes et laiton d'aluminium, ferro-aluminium..... .... **Société électro-métallurgique française.**

Digitized by Google

DISCOURS

PRONONCÉS LE JEUDI 2 AVRIL 1891

A

LA TOUR EIFFEL

A

L'INAUGURATION DU GRAND MANOMÈTRE.

DISCOURS DE M. G. EIFFEL.

Messieurs et chers Collègues,

Mon ami M. Cailletet est vraiment bien trop aimable pour moi en m'adressant des paroles aussi flatteuses et je vous remercie d'avoir bien voulu vous y associer.

Si quelqu'un mérite des éloges pour l'appareil qu'il vient de nous montrer, c'est bien lui, qui l'a conçu en entier, qui en a surveillé les détails d'exécution et qui va en faire les premières applications à ses belles recherches sur la compression des gaz.

Ces éloges, vous les lui avez déjà adressés pendant cette visite par vos félicitations amicales et l'intérêt que vous avez pris à son œuvre. Permettez-moi cependant d'être votre interprète en les lui adressant une fois de plus et en faisant des vœux pour que cet instrument nouveau mis entre ses mains et en celles des savants qui voudront en faire usage puisse servir au progrès de la Science.

Digitized by Google

Je ne veux pas abuser de vos instants, mais cependant vous voudrez bien me permettre de vous dire tout le plaisir que j'ai à vous voir réunis ici à propos d'une nouvelle application scientifique de la Tour.

J'ai été tellement poursuivi par cette idée répandue dans un certain monde que la Tour ne servirait à rien, que c'est toujours avec empressement que j'accueille une de ses utilisations au point de vue de la Science. Je ne fais là qu'acquitter une vieille dette, car ce sont les savants qui m'ont donné les premiers encouragements pour l'œuvre que je tentais, et je leur en ai gardé une profonde reconnaissance. J'ai essayé de la témoigner de mon mieux quand l'occasion s'en est présentée, et j'ai le plaisir d'avoir déjà quelques illustres clients, parmi lesquels M. Mascart (dont nous regrettons l'absence, mais qui se console sous le soleil du Midi des phénomènes météorologiques dont nous sommes les victimes non résignées), M. Janssen et M. Cornu que nous avons couverts de nos feux... électriques, aujourd'hui M. Cailletet et bien d'autres parmi lesquels le Dr Hénocque, s'occupant de recherches physiologiques ou physiques.

J'espère que le nombre s'augmentera et que beaucoup d'entre vous voudront bien m'accorder leur confiance; ils seront toujours sûrs de rencontrer ici, de la part de la Société de la Tour et de moi-même, une hospitalité cordiale et le désir, non seulement de leur être personnellement agréables, mais encore d'aider à leurs travaux et au développement scientifique de notre Société, à la prospérité de laquelle je bois en la personne de son président, M. Friedel, dont les travaux et la personne sont si dignes de tous nos respects et de toutes nos sympathies.

Digitized by Google

DISCOURS DE M. CAILLETET.

Cher Monsieur Eiffel,

En nous conviant à cette fête si cordiale, nous, vos collègues de la Société de Physique, vous avez tenu à nous recevoir dans cette Tour qui a rendu votre nom illustre, en assurant le succès de notre dernière Exposition universelle.

Il ne vous a pas suffi d'avoir construit, à l'aide d'admirables moyens de précision, imaginés par vous, ce colosse de fer, qui laisse bien loin derrière lui tout ce que l'art de l'ingénieur a produit jusqu'ici de plus étonnant et de plus grandiose chez les autres nations; vous avez encore voulu, comme un bon architecte, que votre œuvre eût un but utilitaire et pratique et vous l'avez vouée à la Science. Grâce à vous, des laboratoires de Physique, d'Astronomie, de Physiologie, sont déjà construits au sommet de la Tour; grâce à vous, les phénomènes météorologiques observés à 300 mètres au-dessus du sol, sont inscrits à chaque instant; grâce à vous enfin, des expériences sur le pendule et sur la mesure des hautes pressions vont être entreprises, à l'aide d'un appareil qui utilisera la Tour dans toute sa hauteur.

Je tiens, cher monsieur Eiffel, à dire à mes amis de la Société de Physique que le grand manomètre que nous inaugurons aujourd'hui a été construit entièrement grâce à votre libéralité, avec le concours de votre personnel aussi habile que dévoué. Je tiens à remercier particulièrement MM. Kœchlin, Milon et Lebouvier des soins qu'ils n'ont cessé d'apporter à la construction que nous venons de terminer.

Ce manomètre, qui permettra d'entreprendre des expériences qui n'avaient pu être abordées jusqu'à présent, et avec lequel il sera possible de mesurer des pressions atteignant 400 atmosphères, vous l'avez mis d'une façon absolument désintéressée au service des savants; permettez-moi de vous dire, au nom de mes collègues réunis autour de votre table, que nous vous remercions de l'in-

Digitized by Google

térêt si dévoué et si éclairé que vous portez à la Science en toute occasion; laissez-moi donc lever mon verre et boire à votre santé, en vous remerciant encore de cette belle réception, dont chacun de nous conservera le plus gracieux souvenir.

DISCOURS DE M. FRIEDEL,

Président de la Société française de Physique.

Monsieur et cher Collègue,

Après ce qui vient d'être si bien dit par mon cher Confrère, M. Cailletet, après les vœux que vous avez bien voulu exprimer pour la prospérité de la Société de Physique, au progrès de laquelle vous contribuez en ce moment d'une manière si efficace, il ne me reste qu'à vous adresser, au nom du Conseil de la Société, tous nos remerciements et à vous témoigner notre vive admiration pour les merveilles que vous avez bien voulu nous montrer.

Beaucoup d'entre nous les avaient déjà vues; mais nous les avons mieux comprises en les revoyant sous votre haute et tout aimable direction.

Permettez-moi, cher et honoré Collègue, d'introduire ici mon impression personnelle.

Je trouve, dans votre œuvre grandiose, l'expression la plus complète de l'union entre la Science et l'Industrie, union qui réalise de nos jours de si grandes choses.

L'Industrie, pour faire des progrès, ne peut se passer de la Science, dont elle n'est, en définitive, que l'application en vue d'un but déterminé. La Science, pour aller en avant, a besoin du concours de l'Industrie, qui vient à son aide avec les moyens puissants dont elle seule dispose.

J'ai eu souvent l'occasion d'affirmer la nécesité de cette alliance féconde sur un autre terrain, celui de la Science et de l'Industrie chimiques, où la fusion ne me paraît pas encore aussi complète-

Digitized by Google

ment réalisée que dans le domaine de la mécanique et de la construction.

Mais si le magnifique monument où vous avez bien voulu nous rassembler nous montre réunies la théorie et la pratique, il me paraît y ajouter un autre élément dont la valeur ne saurait être méconnue.

Tout à l'heure, en mettant votre Tour au service de la Science, vous sembliez, monsieur et illustre Collègue, vous défendre quelque peu contre ceux qui pouvaient lui reprocher de n'avoir aucun but d'utilité pratique ; mais c'est cela même, si je ne me trompe, qui a le plus contribué à son prodigieux succès.

Vous avez su faire dans votre entreprise une large place à l'idéal et répondre à ce besoin de notre nature qui est de monter, ne fût-ce que pour respirer un air plus pur et fuir un moment les vulgarités du pavé.

Avant d'élever cette Tour, vous aviez construit des ouvrages étonnants, jeté des ponts, réuni des montagnes par des viaducs. Ils étaient connus et admirés des ingénieurs ; le public s'en servait et en appréciait en passant la savante hardiesse ; mais tout le monde a voulu monter sur la Tour et sa réputation s'étend au delà des limites du monde civilisé.

Elle réunit donc tout : la Science, l'Industrie, la part d'idéal ferment nécessaire des grandes choses. Vous n'y avez pas même oublié le côté positif, ainsi que vient de nous le faire constater de la manière la plus agréable votre généreuse hospitalité.

Recevez pour tout cela, monsieur et cher Collègue, nos plus cordiales félicitations et nos remerciements les plus sincères.

Nous faisons des vœux pour le bon succès des recherches entreprises, avec votre bienveillant concours, par nos collègues, MM. Mascart, Cornu, Cailletet et Colardeau, Janssen, Hénocque, Defforges, et par d'autres encore, à la collaboration desquels vous avez bien voulu faire appel, assurés qu'en de pareilles mains elles ne manqueront pas de donner des résultats importants pour la Science, et dont l'Industrie saura profiter à son tour quand le moment sera venu.

Digitized by Google

Description du manomètre à air libre de 300 mètres établi à la tour Eiffel;

PAR M. L. CAILLETET.

On sait que la mesure des pressions des gaz ou des liquides ne peut être pratiquement obtenue, d'une façon précise et avec une approximation constante, qu'à l'aide de manomètres à air libre; c'est pour cette raison que, dans des expériences antérieures, j'avais installé, d'abord sur le flanc d'un coteau, puis, plus tard, dans le puits artésien de la Butte-aux-Cailles, un manomètre à air libre de grande dimension. Cette disposition a été reproduite depuis par divers physiciens; mais les difficultés de manœuvre et d'observation d'un instrument installé dans ces conditions en limitent l'emploi et laissent subsister des incertitudes sur la précision des résultats.

La construction de la tour Eiffel offrait des conditions exceptionnellement avantageuses pour l'installation d'un manomètre à air libre de 300^m, dont les organes, liés d'une façon invariable à la tour elle-même, fussent rendus accessibles à l'observateur sur toute son étendue.

La pression de 400 atmosphères, que mesure un pareil manomètre, ne pouvant être maintenue dans un tube de verre, on a dû recourir à un tube d'acier doux, de $4^{mm},5$ de diamètre intérieur, relié par sa base à un récipient de mercure. En comprimant à l'aide d'une pompe, d'après le dispositif bien connu, de l'eau sur le mercure, on peut l'élever graduellement jusqu'au sommet de la tour.

L'opacité du tube d'acier s'opposant à la lecture directe du niveau du mercure, on a disposé de 3^m en 3^m, sur le trajet de ce tube, des robinets à vis conique, dont chacun communique avec un tube de verre vertical, d'un peu plus de 3^m de hauteur.

Lorsqu'on ouvre un de ces robinets, on met l'intérieur du tube d'acier en communication avec le tube de verre dans lequel peut alors pénétrer le mercure. La position du niveau est donnée par une échelle graduée placée derrière ce tube. On a adopté pour la confection de ces échelles le bois verni, de préférence aux métaux. On sait, en effet, que le bois n'éprouve que des variations

Digitized by Google

insignifiantes dans le sens de ses fibres, même sous des influences atmosphériques très différentes. Afin d'assurer la stabilité de ces règles graduées, on les a fixées solidement, dans une position bien verticale, contre des supports de bois, boulonnés eux-mêmes sur les pièces métalliques de la tour.

Pour réaliser, à un moment donné, une pression déterminée, il suffit d'ouvrir le robinet qui porte la division correspondant à la pression. On fait agir la pompe hydraulique, et, quand le mercure arrive au robinet, il s'élève en même temps dans le tube de verre et dans le tube d'acier.

On l'amène alors exactement à la division voulue en agissant très lentement sur la pompe hydraulique; si, en opérant ainsi, on a dépassé le niveau cherché, on laisse échapper une certaine quantité d'eau par un robinet de décharge placé dans le voisinage de la pompe. Le liquide qui s'échappe pénètre dans un tube de verre gradué, placé verticalement, et son élévation indique l'abaissement correspondant de la colonne de mercure. Cette manœuvre, qui se fait dans le laboratoire installé à la base de l'appareil, est rendue très simple au moyen d'un téléphone, que l'observateur emporte avec lui et qui, à chaque robinet, peut être mis en relation avec le poste inférieur.

Auprès de la pompe hydraulique, se trouve un manomètre métallique, de grande dimension, communiquant avec le liquide comprimé. Ce manomètre porte une première graduation en atmosphères; une seconde graduation correspond aux numéros d'ordre des divers robinets : on sait ainsi immédiatement et par avance dans quel tube de verre devra s'élever le mercure sous une pression donnée, ce qui permet de trouver sans hésitation le robinet à ouvrir.

Si, pour une cause quelconque, le mercure vient à dépasser le sommet de l'un de ces tubes de verre, il se déversera dans un tube de retour en fer destiné à le ramener au pied de l'appareil.

La direction inclinée des piliers de la tour ne permettait pas l'installation du tube d'acier dans une direction toujours verticale. De la base de la tour à la première plate-forme, c'est-à-dire jusqu'à une hauteur de 60^m environ, ce tube est fixé contre le plan incliné d'un des rails de l'ascenseur; un escalier en fer le suit dans toute sa longueur.

Digitized by Google

Entre la première et la deuxième plate-forme, c'est-à-dire sur une hauteur à peu près égale à la précédente, l'appareil manométrique est installé contre l'escalier hélicoïdal. Celui-ci se divisant en plusieurs tronçons verticaux, non superposés à cause de l'obliquité du pilier, il en est de même du tube manométrique qui s'incline pour passer d'un de ces escaliers à l'autre, en conservant une pente assez grande pour assurer la descente du mercure au retour.

Enfin, de la deuxième plate-forme au sommet, le tube est disposé de la même manière contre les escaliers verticaux en hélice.

L'observation facile est donc assurée, comme on le voit, de la base au sommet. Les échelles graduées qui accompagnent chaque tube de verre n'étant pas superposées verticalement, on a opéré de la manière suivante pour raccorder leurs graduations :

On a fixé d'abord, sur le trajet du tube manométrique, un certain nombre de points de repère. A l'aide d'un niveau à lunette employé dans les nivellements géodésiques, on a relevé leur altitude au-dessus d'un trait fixe gravé à la base du récipient de mercure. Pour le raccordement de deux règles graduées consécutives, on s'est servi de deux vases communicants remplis d'eau et réunis par un tube en caoutchouc. Les deux niveaux étant dans un même plan horizontal, c'est dans ce plan amené à coïncider avec le sommet de l'une des échelles que l'on a fixé la base de l'échelle suivante.

Comme la précision des mesures fournies par l'appareil dépend en grande partie de l'exactitude de ce nivellement, on a contrôlé l'opération précédente à l'aide d'une règle d'acier s'appuyant sur la base et le sommet de deux échelles consécutives. Un niveau à bulle d'air constatait la parfaite horizontalité de la ligne de raccordement; d'ailleurs, les points de repère dont on a parlé plus haut ont servi eux-mêmes successivement de contrôle, à mesure qu'on s'élevait dans l'installation des échelles. Enfin, pour éliminer toute incertitude, une dernière vérification de cette graduation sera faite prochainement par un procédé trigonométrique.

Le calcul de la valeur exacte de la pression, d'après la mesure de la colonne de mercure soulevée, nécessite, pour chaque expé-

Digitized by Google

rience, un certain nombre de corrections qui dépendent de la connaissance de plusieurs éléments.

La température modifie la densité du mercure et fait varier la hauteur de la tour et, par conséquent, du tube manométrique. Un calcul simple montre qu'un écart de température de 30° ne fait guère varier cette hauteur que de 1 décimètre, soit $\frac{1}{3000}$ de sa valeur. La correction due à la densité variable du mercure est plus importante : elle serait d'environ $\frac{1}{200}$ pour le même écart de 30°.

La mesure de la température moyenne nécessaire à cette double correction est obtenue par la variation de la résistance électrique qu'elle communique au fil téléphonique qui suit la colonne mercurielle sur tout son parcours. Des thermomètres enregistreurs, installés à chaque plate-forme, donnent d'ailleurs pour chaque expérience une indication souvent suffisante.

Les autres principaux éléments qui interviennent dans les corrections sont : la compressibilité du mercure, la diminution de la pression atmosphérique à mesure que la colonne s'élève dans le tube manométrique, la variation du niveau du mercure dans le réservoir inférieur, etc.

Le laboratoire qui contient tous les accessoires du manomètre est installé dans le pilier ouest de la tour, où des recherches sur la tension des vapeurs et la compressibilité des gaz sont actuellement en voie d'exécution.

M. Eiffel, en se chargeant de toutes les dépenses et en mettant à ma disposition le personnel nécessaire à la construction, a tenu à montrer une fois de plus l'intérêt dévoué qu'il porte à la Science.

RÉUNION DU 3 AVRIL 1891.

PRÉSIDENCE DE M. FRIEDEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 mars est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. MALLY (F.), Docteur en médecine, à Paris.
POMEY (J.-B.), Ingénieur des Télégraphes, à Tours.

M. le PRÉSIDENT adresse ses remerciements aux divers savants et con-

Digitized by Google

structeurs qui ont envoyé leurs appareils à l'exposition de la Société de Physique. Il croit, en particulier, être l'interprète de tous, en témoignant ses sentiments de reconnaissance à MM. Eiffel et Cailletet, dont l'invitation à la visite de la tour Eiffel et des divers appareils qui y sont installés a permis de donner, cette année, aux séances de Pâques, un intérêt exceptionnel.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. Latchinoff dans laquelle il réclame la priorité pour l'*électrolyse industrielle de l'eau.*

M. Amagat expose l'ensemble de ses recherches sur l'élasticité des solides et la compressibilité du mercure; il s'est d'abord proposé de soumettre au contrôle de l'expérience un certain nombre de relations déduites des formules générales de la théorie de l'élasticité; ces relations se vérifient avec le degré d'exactitude que comportent les expériences. M. Amagat expose ensuite les trois méthodes qu'il a suivies pour déterminer le coefficient de compressibilité et le coefficient de Poisson du verre, du cristal et de plusieurs métaux : la méthode de Wertheim, une seconde méthode dans laquelle il évite la mesure d'allongement des cylindres soumis à la traction qui, pour le verre et le cristal, présente quelques incertitudes, et enfin une méthode qui consiste à déterminer le raccourcissement d'un cylindre comprimé de toutes parts dans un liquide et à en déduire la compressibilité cubique, comme on déduit la dilatation cubique de la dilatation linéaire; la concordance des résultats obtenus par ces trois méthodes constitue une nouvelle vérification des formules. M. Amagat donne des détails relatifs à la construction des cylindres de verre et de cristal et des cylindres métalliques qui ont servi à ces recherches, ainsi que sur la construction des appareils dont plusieurs ont figuré à l'exposition qui vient d'avoir lieu; et, en particulier, sur l'appareil destiné à la mesure du raccourcissement des tubes comprimés (troisième méthode ci-dessus) avec laquelle il a opéré jusqu'à une pression de 2000^{atm}.

Contrairement à l'opinion de Wertheim qui, à la suite de ses recherches, avait assigné au coefficient de Poisson la valeur 0,333 pour tous les solides et même pour le caoutchouc, et conformément à divers résultats publiés depuis, ce coefficient varie d'un corps à l'autre et pour un même corps avec son état physique. Pour le caoutchouc en particulier, une expérience très simple dans laquelle on compare les variations de volume intérieur d'un piézomètre de caoutchouc et d'un piézomètre métallique comprimés par l'intérieur et par l'extérieur simultanément, permet, sans même qu'il soit nécessaire de faire aucune mesure, de montrer que pour ce corps le coefficient de Poisson est forcément extrêmement voisin de 0,5. Si on suppose les corps étudiés par M. Amagat, rangés dans l'ordre suivant,

Verre et cristal.	Acier.	Cuivre.	Laiton.	Métal Δ.	Plomb.
0,25	0,27	0,33	0,33	0,34	0,43

le coefficient sensiblement égal à $\frac{1}{4}$ pour le verre et le cristal, ainsi que

Digitized by Google

l'avait trouvé M. Cornu en suivant une méthode totalement différente, va en augmentant au fur et à mesure que les corps deviennent plus mous et moins réfractaires aux déformations permanentes jusqu'à $\frac{1}{2}$, valeur théorique pour les liquides; il paraît naturel d'en conclure que, conformément du reste aux idées de plusieurs géomètres, $\frac{1}{4}$ serait une limite inférieure; seulement, cette limite inférieure ne s'appliquerait qu'aux solides rigoureusement élastiques et rigoureusement isotropes; le verre et le cristal seraient les corps étudiés qui se rapprochent le plus de ces conditions, auxquelles probablement ne satisfait rigoureusement aucun corps de la nature.

Les cylindres de verre et de cristal qui avaient servi à déterminer le coefficient de compressibilité de ces substances avaient été dans ce but remplis de mercure : il ne restait donc pour obtenir le coefficient absolu de ce liquide qu'à en déterminer, dans les mêmes cylindres, le coefficient apparent. Les déterminations ont été faites avec sept cylindres, les résultats bien concordants ont donné pour moyenne 0,0000039; ce résultat est, du reste, celui auquel arrive M. Guillaume, en faisant subir au nombre 0,0000018, obtenu par MM. Amaury et Descamps, une correction nécessitée par l'inexactitude du principe même de la méthode qui avait été indiquée par Jamin.

M. Blondlot décrit les expériences qu'il a faites pour déterminer la constante diélectrique du verre à l'aide d'oscillations électriques très rapides. La méthode employée ne repose sur aucune formule, mais uniquement sur le principe de symétrie et sur la définition de la constante diélectrique. On fait naître dans une plaque métallique A des oscillations électriques très rapides, comme dans les expériences de M. Hertz. Cette plaque A produit sur deux autres plaques C et C′, placées symétriquement par rapport à A, des actions d'influences symétriques. De C et C′ partent des fils terminés par deux pointes de charbon placées en regard à une très petite distance. Si l'on interpose entre A et C une lame de verre, la symétrie électrique est détruite, et l'on observe des étincelles entre les charbons; on peut faire disparaître ces étincelles en interposant entre A et C′ une lame de soufre d'une épaisseur convenable. Des épaisseurs des deux lames on déduit le rapport des constantes diélectriques du verre et du soufre; mesurant ensuite les constantes diélectriques du soufre par le procédé de M. Curie, on en déduit celle du verre. M. Blondlot a ainsi trouvé pour le verre $2,8 = (1,67)^2$, nombre presque identique au nombre $2,7 = (1,65)^2$, trouvé précédemment par M. J.-J. Thomson par une autre méthode. Ces nombres, tout en étant plus grands que le carré de l'indice (1,52 environ) du verre employé, en sont cependant beaucoup moins éloignés que les valeurs de la constante diélectrique obtenues à l'aide de méthodes plus lentes.

Digitized by Google

Recherches sur l'élasticité des solides et la compressibilité du mercure (¹);

PAR M. E.-H. AMAGAT.

1. *Élasticité du verre et du cristal.* — J'ai cherché à déterminer, pour le verre et le cristal, le coefficient de Poisson et le coefficient de compressibilité cubique en évitant plusieurs causes d'erreur qui paraissaient avoir faussé les résultats obtenus par Wertheim; d'après ce physicien, le coefficient de Poisson serait pour tous les solides égal à $\frac{1}{3}$; d'après plusieurs analystes, ce nombre doit être égal à $\frac{1}{4}$ pour tous les vrais solides isotropes : c'est aussi le résultat auquel est arrivé M. Cornu, pour le verre, en suivant une méthode purement optique.

Sans vouloir, pour le moment, discuter les expériences de Wertheim, je ferai remarquer que la mesure de l'allongement des cylindres par traction, qui est l'une des données expérimentales de sa méthode, est déjà une opération délicate avec des cylindres réguliers, et qu'avec les tubes de verre ou de cristal, qu'il est impossible d'obtenir rigoureusement réguliers et droits, l'effet de redressement peut entraîner des erreurs notables; j'ai donc cherché pour ces deux corps a éviter la mesure d'allongement, et je me suis d'abord arrêté à la méthode que voici :

Je fais d'abord une première expérience par traction comme dans la méthode de Wertheim (indiquée par Regnault) et je détermine seulement la variation de volume intérieure; le même cylindre est ensuite comprimé par l'extérieur et je détermine encore la variation de volume intérieure; ces deux variations de volume sont exprimées par les relations

$$dV = \alpha(1 - 2\mu)VP \tag{1}$$

et

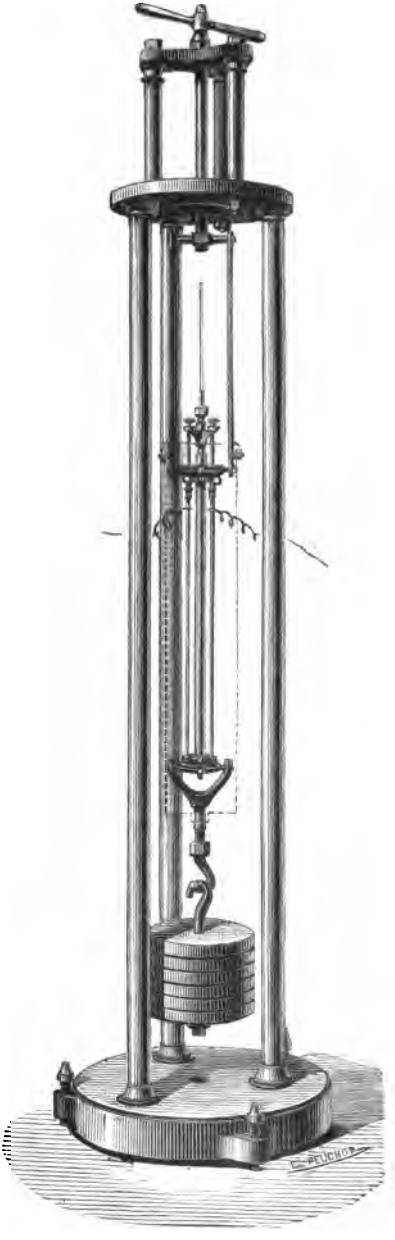
$$dV_1 = \alpha \frac{R^2(5 - 4\mu)}{R^2 - R_0^2} P_1 V, \tag{2}$$

desquelles on tire les valeurs de α et de μ.

(¹) Voir *Journal de Physique*, 2ᵉ série, t. VIII, 1889, et *Annales de Chimie et de Physique*, 6ᵉ série, t. XXII, l'exposé de la *Première méthode de vérification des formules générales de la théorie de l'élasticité.*

Digitized by Google

Fig. 1.



On remarquera que, si l'on désire seulement avoir le coefficient

Digitized by Google

de compressibilité cubique, l'expérience par traction seule suffit; car la relation (1) donne la valeur du produit $\alpha(1 - 2\mu)$, qui est égale au tiers de ce coefficient, dont la détermination se trouve ainsi rendue indépendante de celle de μ.

Les tubes de verre et de cristal qui ont servi à ces recherches ont été étirés et recuits avec soin, spécialement dans ce but, à la cristallerie Guilbert-Martin, de Saint-Denis; pour chaque corps, on a choisi dans de grandes longueurs provenant d'une même potée les parties les plus régulières possibles, et M. Alvergniat en a fait des piézomètres, c'est-à-dire, en réalité, de grands thermomètres *à mercure* dont le réservoir avait 1^m de longueur; les bases de ces réservoirs ont été faites planes intérieurement et elles ont été prolongées par des parties massives portant des renflements destinés à fixer les deux extrémités sans masticage dans des suspensions à la Cardan par l'intermédiaire desquelles l'étirement devait être fait.

L'appareil construit pour cette opération est représenté *fig.* 1. Le cylindre soumis à la traction est ici un cylindre métallique portant en plus un dispositif symétrique destiné aux mesures d'allongement et qu'il faut supposer supprimé dans le cas actuel.

Les rondelles de plomb formant la charge reposent d'abord sur un support placé sur le socle et qu'on n'a pas figuré; on produit la traction en soulevant le tout au moyen d'une vis entraînée par un écrou muni de deux bras, que l'on voit à la partie supérieure de l'appareil; l'opération se fait ainsi sans soubresauts et l'on évite la rupture des cylindres. Enfin on distingue en traits ponctués un grand manchon cylindrique retenu par deux petits tourillons et que l'on remplit d'eau, afin d'opérer à température constante; on remarquera du reste que, les piézomètres étant remplis de mercure, les erreurs provenant des variations de température sont moins à craindre que s'ils étaient remplis d'eau, à moins, toutefois, d'opérer comme ci-dessus à la température du maximum de densité.

Voici le Tableau résumant l'ensemble des résultats :

Digitized by Google

	Numéros des cylindres.	Cristal et verre. Coefficients de Poisson.	d'allongement.	de compressibilité cubique.	Mercure. Coefficients de compressibilité apparente.	de compressibilité absolue.
Verre.	1.....	0,2476	0,000001434	0,000002202	0,000001696	0,000003898
	2.....	0,2450	0,000001437	0,000002200	0,000001680	0,000003880
	3.....	0,2428	0,000001419	0,000002190	0,000001744	0,000003934
	Moy.	0,2451	0,000001430	0,000002197	0,000001707	0,000003904
Cristal.	1.....	0,2538	0,000001604	0,000002369	0,000001547	0,000003916
	2.....	0,2481	0,000001603	0,000002423	0,000001502	0,000003925
	3.....	0,2534	0,000001624	0,000002403	0,000001470	0,000003937
	4.....	0,2443	0,000001580	0,000002424	0,000001530	0,000003954
	Moy.	0,2499	0,000001602	0,000002405	0,000021512	0,000003933
				Moyenne générale pour le mercure.....		0,000003918

2. *Compressibilité du mercure.* — Les résultats inscrits au Tableau qui précède ont été obtenus en déterminant le coefficient apparent de ce corps dans les piézomètres tout chargés de mercure qui viennent d'être décrits, et dont le coefficient de compressibilité était déterminé (*loc. cit.*).

3. *Détermination directe des coefficients de compressibilité et seconde vérification des formules générales de l'élasticité.* — Il m'importait, pour corriger les résultats apparents de mes recherches sur la compressibilité des fluides, de savoir si, sous de très fortes pressions, le coefficient de compressibilité du verre varie d'une façon notable. La méthode que j'ai précédemment décrite n'était plus applicable dans ces conditions; celle à laquelle je me suis arrêté est très simple en principe, mais sa réalisation, dans le cas des pressions extrêmement fortes, présente des difficultés qui m'ont arrêté pendant longtemps. Pendant ces tentatives, j'ai appris qu'en Angleterre MM. Buchanan et Tait avaient appliqué la même idée dans le cas des pressions modérées auxquelles peuvent résister des cylindres de verre comprimés par l'intérieur. Voici en quoi consiste la méthode :

Un tube de la substance à étudier est comprimé de toutes parts par l'intermédiaire d'un liquide dans lequel il est plongé, il se raccourcit; on mesure ce raccourcissement; en le multipliant par 3,

Digitized by Google

on a la diminution de volume et, par suite, le coefficient de compressibilité cubique.

Dans les expériences de M. Buchanan et de M. Tait, les tubes de verre étaient comprimés dans un cylindre métallique prolongé par des cylindres de verre à travers lesquels on estimait directement le raccourcissement au moyen de deux microscopes fixes. Pour des pressions très fortes, les cylindres de verre ne résistant plus, j'ai dû chercher une disposition expérimentale totalement différente.

La figure ci-contre (*fig.* 2) montre une coupe par un plan vertical de l'appareil que j'ai construit pour ces recherches.

Le tube à étudier TT a exactement un mètre de longueur (la

Fig. 2.

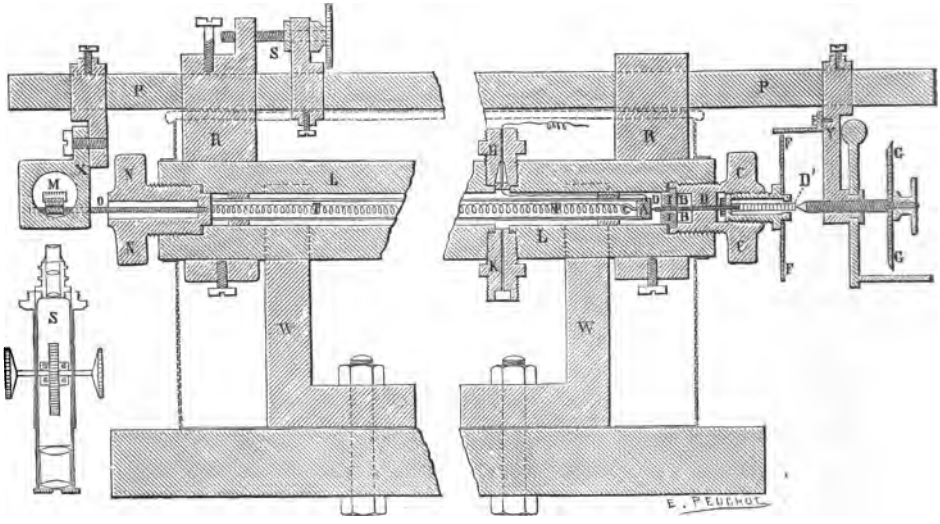


figure est au cinquième d'exécution en restituant la partie coupée); il est placé dans l'axe d'un cylindre d'acier LL, il est maintenu d'un côté buté contre le boulon NN au moyen d'un ressort qui, en même temps, applique contre l'autre extrémité un plan d'acier rodé A. En regard de A débouche, porté par le boulon CC, un petit piston d'acier DD rendu étanche au moyen d'une chambre à mélasse (comme le piston de mon manomètre à pistons libres); ce piston est entraîné au moyen de deux butoirs qu'il porte par une

Digitized by Google

vis à pas fin à laquelle le boulon sert d'écrou et qui est mue par un cadran divisé et molleté FF; cette vis laisse passer dans son axe évidé le prolongement libre du petit piston, dont la section D′ vient déboucher en regard de la pointe d'une vis micrométrique. Cette vis, son cadran divisé GG et son index ne sont autre chose que le dispositif ordinaire d'un sphéromètre dont on a enlevé les pieds et qu'on a rendu solidaire d'un cylindre plein d'acier PP au moyen d'une pièce V. L'autre extrémité de ce cylindre d'acier porte un microscope S, qu'on a dessiné à part et qu'il faut supposer vissé sur l'orifice de la pièce. Ce microscope vise un micromètre transparent M divisé en centièmes de millimètre, porté par une tige O vissée au fond du boulon évidé NN qu'elle traverse librement.

La pression arrive par la pièce latérale K qu'il faut, de même que celle d'en face H, supposer dans un plan horizontal. La pièce H laisse passer, en l'isolant, un fil conducteur amenant le courant d'une pile jusqu'au plan d'acier A. Le courant traverse un galvanomètre et revient au piston DD par la masse de l'appareil. Le circuit est fermé quand la pointe terminant le piston touche le plan d'acier. (Le ressort est séparé en deux tronçons par un corps isolant.)

Quand on produit la pression, le tube TT se raccourcit : on suit le déplacement du plan A, en rétablissant la fermeture du courant; ce déplacement est mesuré au tambour CC de la vis micrométrique qui suit le déplacement de l'extrémité D′ du piston prolongé, au moyen d'un second circuit électrique que la pointe de cette vis ferme sur la section D′. En même temps on suit sur le micromètre M le déplacement de l'autre extrémité du tube qui est toujours extrêmement petit. Il résulte évidemment de la solidarité du microscope et de la vis micrométrique (fixés au même cylindre plein PP′) que la différence des déplacements observés est précisément le raccourcissement du tube TT. Le cylindre LL est, du reste, placé dans une cuve pleine d'eau, indiquée en traits ponctués, permettant d'obtenir une température bien constante; le cylindre PP′ est protégé contre les variations de température au moyen d'une enveloppe de caoutchouc.

La partie comprimée DD du piston donne lieu à une légère correction qu'on peut toujours faire avec une exactitude suffisante.

Digitized by Google

Les expériences ont été poussées régulièrement jusqu'à 2000^{atm}. Le Tableau qui suit donne la moyenne des résultats obtenus avec le cristal et trois séries sur le verre faites dans de bonnes conditions, afin de montrer le degré de concordance auquel on peut arriver : ces derniers résultats sont eux-mêmes les moyennes d'observations faites d'abord en comprimant, puis en décomprimant pour revenir à la pression normale. La température moyenne a été voisine de 12°.

Limites des pressions en atmosphères.	Verre. Raccourcissement par atmosphère d'un tube de 1^{m} en millièmes de millimètre. 1re série.	2e série.	3e série.	Moy.	Coefficient de compressibilité cubique.	Cristal. Coefficient de compressibilité cubique.
Entre 1^{atm} et 500^{atm}...	0,747	0,752	0,751	0,750	0,000002250	0,000002454
» 1000...	0,743	0,751	0.746	0,746	0,000002248	0,000002424
» 1500...	0,743	0,748	0,745	0,745	0,000002235	0,000002415
» 2000...	0,741	0,748	0,743	0,743	0,000002229	0,000002406

On voit que la diminution du coefficient de compressibilité est à peine sensible; elle ne se montre nettement que dans les moyennes; elle est à peu près de l'ordre de grandeur des erreurs dont on ne peut guère répondre; cependant elle existe vraisemblablement : je l'ai retrouvée plus ou moins régulièrement dans toutes les moyennes de séries.

Les tubes de verre et de cristal qui ont servi à ces expériences sont précisément ceux qui ont servi aux recherches décrites plus haut et qui avaient donné pour coefficients de compressibilité :

Verre..... 0,000002197
Cristal..... 0,000002405

Si l'on tient compte de la différence complète des deux méthodes et de la difficulté de ces recherches, on trouvera l'accord aussi satisfaisant qu'il était permis de l'espérer.

L'accord entre ces résultats obtenus sans faire usage d'aucune formule et ceux qui ont été calculés au moyen des formules générales de l'élasticité peut être considéré comme une nouvelle et plus complète vérification de l'exactitude de ces mêmes formules.

Digitized by Google

4. *Élasticité des métaux.* — Pour les métaux travaillés en cylindres réguliers, la mesure de l'allongement peut être faite avec une précision suffisante pour suivre avec succès la méthode de Wertheim; le point le plus difficile est la mesure de cet allongement.

J'ai également opéré en suivant la méthode indiquée au n° 1; on verra plus loin le Tableau comparatif des résultats ainsi obtenus.

Les expériences de traction ont été faites avec l'appareil déjà décrit (*fig.* 1); pour les fortes charges qui ont atteint 700^{kg} avec le tube d'acier, on avait remplacé les rondelles de plomb par une romaine soigneusement vérifiée dont l'anneau de charge était engagé dans un crochet vissé dans un trou qu'on voit au centre du socle.

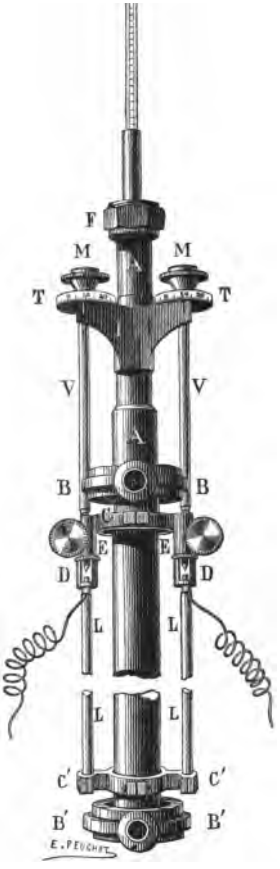
La *fig.* 3 montre le détail des pièces destinées aux mesures d'allongement : BB et B'B' sont les anneaux intérieurs des suspensions à la Cardan; ils sont soudés sur le pourtour des cylindres au niveau des fonds formant les bases planes, de telle sorte que ces fonds ne subissent aucune traction; cette disposition permet de faire toutes les soudures à l'étain, ce qui est un avantage notable, particulièrement au point de vue de la conservation de la forme et de l'homogénéité des cylindres.

Deux tringles d'acier symétriquement placées LL sont rendues solidaires de la partie inférieure du cylindre au moyen d'un collier C'C' évidé intérieurement en biseau, de manière à rétrécir autant que possible la largeur du cercle de serrage; à la partie supérieure, un collier semblable CC porte les écrous E, E de deux vis micrométriques V, V munies de tambours divisés T, T et d'index I, I. En faisant mouvoir ces vis au moyen des têtes molletées M, M, on amène leurs pointes à toucher les sections droites des extrémités des tringles guidées librement par des pièces d'ivoire D, D solidaires des écrous E, E. On ferme par ce contact le circuit d'une pile muni d'un galvanomètre, absolument comme dans l'appareil décrit au numéro précédent. Quand le cylindre s'allonge sous l'effort de la traction, le circuit est rompu; on mesure l'allongement par la rotation des vis nécessaire pour rétablir le contact. L'exactitude des mesures dépend de la régularité de l'allongement et du déplacement des colliers, qui doit se faire bien parallèlement

Digitized by Google

à l'axe du cylindre; la plus petite déviation du plan des colliers fait varier en sens contraire la valeur des mesures fournies par les vis placées dans des azimuts opposés; on prend la moyenne des deux mesures qui ne diffèrent jamais que de très peu, quand tout fonctionne bien.

Fig. 3.



La mesure de la variation de volume intérieur se fait, comme d'habitude, au moyen du tube gradué et calibré qui termine l'appareil.

On a alors, pour déterminer les valeurs de α et de μ, les deux

Digitized by Google

relations

$$(1) \qquad dV = \alpha(1 - 2\mu)VP$$

et

$$(3) \qquad \alpha = \frac{dL}{LP}.$$

On a ensuite déterminé la variation de volume intérieur des mêmes cylindres comprimés par l'extérieur, et l'on a eu les données nécessaires pour appliquer la première méthode au moyen des relations (1) et (2) du n° 1.

La relation (1), qui est commune aux deux méthodes, fournit en bloc, ainsi que je l'ai déjà fait remarquer, la valeur $\alpha(1 - 2\mu)$ qui, multipliée par 3, donne le coefficient de compressibilité cubique; c'est pour cela que, dans le Tableau comparatif des résultats, ce coefficient n'est inscrit qu'une fois.

Tous les cylindres métalliques, sauf celui du plomb, ont été percés et travaillés au tour de manière à obtenir des cylindres aussi parfaits que possible; les barreaux d'acier, de cuivre et de laiton, dans lesquels ils ont été faits, avaient été préparés et recuits spécialement dans ce but. Pour le plomb, le travail du tour ne pouvant être exécuté, j'ai dû me contenter d'un tuyau aussi régulier que possible, qu'on a redressé avec soin au moyen d'un mandrin d'acier.

	Coefficient de Poisson (μ).			Coefficient de compressibilité cubique.	Coefficient d'élasticité $\left(\frac{1}{\alpha}\right)$.		
	1re méth.	2e méth.	Moy.		1re méth.	2e méth.	Moy.
Verre.....	0,2451	»	0,2451	0,000002197	6775	»	6775
Cristal.....	0,2499	»	0,2499	0,000002405	6242	»	6242
Acier.....	0,2694	0,2679	0,2686	0,000000680	20333	20457	20395
Cuivre	0,3288	0,3252	0,3270	0,000000857	11979	12312	12145
Laiton	0,3305	0,3236	0,3275	0,000000953	10680	11022	10851
Métal Delta.	0,3330	0,3468	0,3399	0,000001021	12053	11331	11697
Plomb	0,4252	0,4313	0,4282	0,000002761	1626	1493	1556

La concordance entre les résultats obtenus par les deux méthodes est satisfaisante si l'on tient compte des nombreuses difficultés de ce genre de recherches et, en particulier avec les métaux mous, de la difficulté d'éviter les déformations permanentes, qui,

Digitized by Google

forçant de restreindre la limite des déformations temporaires, diminue d'autant la sensibilité des méthodes. La plus grande différence porte précisément sur le coefficient d'élasticité du plomb, mais elle peut être attribuée en grande partie à ce que le tube de plomb était moins régulièrement cylindrique.

Somme toute, l'accord entre les résultats fournis par les deux méthodes peut encore être considéré comme une vérification des formules.

5. *Examen des valeurs du coefficient de Poisson.* — Il serait trop long d'examiner et même d'énumérer ici les nombreuses recherches analytiques et expérimentales auxquelles cette question a donné lieu; je rappellerai seulement qu'il s'agit de savoir si la valeur de μ est la même pour tous les solides isotropes, ou si, dans ce cas, elle est égale à 0,25 ou à 0,33. D'après de Saint-Venant, on doit avoir $\mu = 0,25$ pour tout vrai solide isotrope; c'est le résultat auquel est arrivé M. Cornu en appliquant à la glace de Saint-Gobain une méthode optique très délicate; M. Cantone a trouvé récemment, avec quatre tubes de verre, les nombres

0,246, 0,261, 0,264, 0,256; moyenne : 0,257.

Sa méthode consiste à combiner une expérience par pression extérieure, avec une expérience par pression intérieure, dans laquelle il mesure l'allongement du tube par la méthode de M. Fizeau. Enfin la moyenne de mes expériences est 0,2451 pour le verre et 0,2499 pour le cristal.

A la suite d'expériences devenues classiques, Wertheim avait conclu qu'on doit avoir $\mu = 0,33$ pour le verre, les métaux et même le caoutchouc.

Mon intention n'est pas d'examiner ici les causes d'erreur déjà signalées, du reste, qui ont pu fausser les résultats de Wertheim, mais je n'hésite pas à considérer sa conclusion comme absolument inacceptable. Pour le caoutchouc, ainsi que je l'ai déjà montré, le seul fait qu'une sphère de cette matière comprimée par l'intérieur et l'extérieur ne subit qu'une déformation intérieure de l'ordre de grandeur de celle des métaux implique nécessairement pour μ (étant donné le coefficient d'allongement du caoutchouc) une valeur extrêmement rapprochée de 0,5.

Digitized by Google

Dans un travail important sur ce sujet, M. Röntgen était arrivé à la même conclusion en mesurant directement par une méthode simple et ingénieuse le rapport de l'allongement à la contraction de la section transversale. Le fait, du reste, avait été déjà conjecturé par Sir W. Thomson.

Si l'on considère l'ensemble des résultats consignés au Tableau et si l'on tient compte de la concordance des résultats obtenus par deux méthodes différentes, il paraît difficile d'attribuer complètement au défaut d'isotropie des différences aussi considérables que celles présentées par les valeurs de μ relatives aux différents corps. En résulte-t-il qu'il soit inexact de dire qu'on doit avoir $\mu = 0,25$ pour tous les vrais solides isotropes? La question est de savoir ce qu'on entend par un vrai solide. Peut-on dire que le plomb soit réellement un corps solide? A ce point de vue, n'est-il pas probable que la valeur théorique 0,25 soit une limite impliquant pour le corps qui doit la posséder non seulement la condition d'isotropie, mais encore une autre condition relative à la solidité qu'on peut se proposer de chercher?

Les nombres consignés au Tableau, dans lequel les corps sont rangés dans l'ordre des valeurs de μ croissantes, montrent que, pour les métaux étudiés, cet ordre est aussi celui des valeurs croissantes du coefficient de compressibilité; que cet ordre est aussi sensiblement celui dans lequel les corps deviennent plus mous; que cet ordre enfin est aussi (sauf pour le métal Delta) l'ordre dans lequel les corps, depuis le verre jusqu'au plomb, deviennent plus susceptibles de subir des déformations permanentes. J'ai à peine besoin d'ajouter que, même quand il s'agit des corps les plus déformables, on ne considère que des résultats obtenus dans des conditions où il ne s'est pas produit de déformations permanentes sensibles.

On peut se demander si même les solides, facilement déformables comme le plomb, ne se rapprocheraient pas des solides difficilement déformables dans des limites de pression ou de traction suffisamment restreintes; si, pour ces corps, la valeur de μ ne tendrait pas vers 0,25 en même temps que la déformation temporaire correspondante tendrait vers une limite d'autant plus voisine de zéro que le corps est plus facilement déformable. Cette hypothèse me paraît peu probable, car elle conduirait à penser

Digitized by Google

que la valeur de μ ne devient notablement supérieure à 0,25 qu'à partir du moment où les déformations permanentes deviennent elles-mêmes notables. Or tous les coefficients inscrits au Tableau résultent d'expériences dans lesquelles les déformations permanentes qui peuvent s'être produites étaient de l'ordre de grandeur des erreurs dont on ne peut répondre.

Il me paraît résulter de l'ensemble de ces considérations que la valeur de μ, théoriquement égale à 0,5 pour les liquides, décroît d'un corps à l'autre au fur et à mesure que ceux-ci, passant par tous les intermédiaires, se rapprochent de l'état solide parfait pour lequel on aurait $\mu = 0,25$, cet état étant caractérisé par le fait d'être absolument réfractaire aux déformations permanentes, c'est-à-dire rigoureusement élastique. Il est probable qu'aucun corps de la nature ne possède strictement cette propriété; pour le verre et le cristal qui, parmi les corps étudiés, s'en rapprochent le plus, le coefficient a sensiblement atteint la valeur limite; l'acier viendrait ensuite, le caoutchouc serait à l'autre extrémité de l'échelle.

La valeur de μ doit, du reste, varier pour un même corps avec son état physique; elle serait évidemment égale à 0,5 pour du verre en fusion.

L'état solide parfait au point de vue qui nous occupe, celui pour lequel on a $\mu = 0,25$, serait donc l'état d'un corps réalisant la double condition d'être à la fois rigoureusement élastique et rigoureusement isotrope.

Détermination de la constante diélectrique du verre, à l'aide d'oscillations électriques très rapides;

Par M. R. Blondlot.

On sait que la loi donnée par Maxwell, d'après laquelle le carré n^2 de l'indice de réfraction d'une substance devrait être égal à sa constante diélectrique K, n'est pas vérifiée exactement par l'expérience, dans le cas des corps solides et liquides. Toutefois, comme la mesure de K présente des difficultés considérables,

Digitized by Google

il se peut que les écarts observés soient dus à des erreurs expérimentales, et la question reste à élucider.

Le verre est l'un des corps qui présentent les écarts les plus grands : d'après M. Hopkinson, pour certains verres, K atteint $4n^2$. N'obtiendrait-on pas une valeur de K plus voisine de n^2 si l'on mesurait la constante diélectrique à l'aide d'une force électrique qui varierait avec une extrême rapidité? Pour décider cette question, M. J. Thomson a employé les oscillations très rapides, telles que les produisent les appareils de M. Hertz [1] : un condensateur à lame d'air émet des oscillations dont on mesure la longueur d'onde λ; on substitue ensuite une lame de verre à la lame d'air, ce qui donne une nouvelle valeur plus petite, λ', à la longueur d'onde; comme la vitesse de propagation est restée la même, il en résulte que la période est aussi devenue plus petite, et, si l'on désigne par T et T′ les valeurs de la période dans les deux expériences, on a

$$\frac{T}{T'} = \frac{\lambda'}{\lambda}. \tag{1}$$

Or on a établi, entre la période de vibration T, la capacité C et le coefficient de self-induction L d'un condensateur, la relation

$$T' = \pi\sqrt{CL};$$

comme L reste le même dans les deux expériences, on aura, en désignant par C′ la valeur de la capacité dans la seconde,

$$\frac{T'}{T} = \sqrt{\frac{C'}{C}},$$

et, par suite, en vertu de l'équation (1),

$$\frac{C'}{C} = \left(\frac{\lambda'}{\lambda}\right)^2.$$

Du rapport $\frac{C'}{C}$ on déduit aisément la constante diélectrique du verre. M. J. Thomson a ainsi trouvé

$$2,7 = (1,65)^2.$$

---

[1] J.-J. Thomson, *Capacité inductive spécifique des diélectriques quand ils sont soumis à l'action de forces électriques à alternatives rapides* (*Proceedings of the Royal Society*, 20 juin 1889).

Digitized by Google

Il en conclut que, pour des oscillations au nombre de 25 000 000 par seconde, « la capacité inductive spécifique du verre est très près d'être égale au carré de l'indice de réfraction et est beaucoup moindre que pour des renversements plus lents ».

Plus récemment, M. E. Lecher a mesuré les constantes diélectriques de plusieurs substances à l'aide d'une méthode fondée également sur la détermination de la longueur d'onde d'oscillations très rapides [1]; cette méthode est moins directe que celle de M. J. Thomson, mais elle a l'avantage de ne pas faire intervenir la formule $T = \pi\sqrt{CL}$, dont l'exactitude n'est pas établie dans le cas des oscillations très rapides. Les résultats et les conclusions de M. E. Lecher sont absolument contraires à ceux de M. J. Thomson : « Non seulement, dit M. E. Lecher, la constante diélectrique, calculée simplement à l'aide de la capacité, ne devient pas plus petite pour des oscillations très rapides, mais même elle croît notablement.... Je crois, contrairement à M. J. Thomson, que, même à l'aide des oscillations hertziennes, on ne s'approchera pas en général de la vraie constante diélectrique. »

Ces conclusions contradictoires m'ont engagé à faire de nouvelles recherches; la méthode dont j'ai fait usage repose également sur l'emploi d'oscillations très rapides, mais la vitesse de propagation et la longueur d'onde n'y interviennent pas : je ne me sers d'aucune formule, mais exclusivement de la définition de la constante diélectrique et du principe de symétrie.

Le diagramme ci-joint (*fig.* 1) représente le plan de l'appareil.

Une grande plaque rectangulaire en laiton AA est fixée verticalement; sa largeur AA′ est 51^{cm} et sa hauteur 32^{cm}. Une seconde plaque de métal BB′, également rectangulaire, mais plus petite, est fixée parallèlement à la première à une distance de $5^{cm},5$; ces deux plaques forment ainsi un condensateur symétrique par rapport au plan vertical XX. Ce condensateur peut se décharger sur lui-même par l'intermédiaire de deux tiges terminées par des boules *a* et *b*, situées en regard l'une de l'autre dans le plan de symétrie à la distance de $0^{cm},4$ environ.

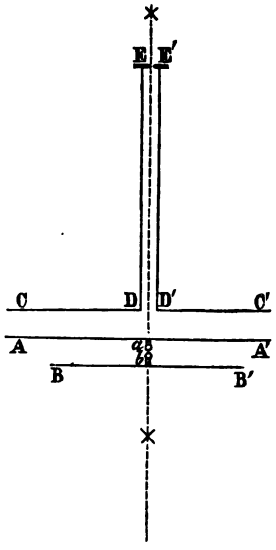
---

[1] *Sur la mesure des constantes diélectriques au moyen d'oscillations hertziennes* (*Sitzungsberichte d. Kais. Akademie d. Wissenschaften in Wien*, mai 1890).

Digitized by Google

La boule a est mise en communication avec les tuyaux de gaz par un fil de cuivre de gros diamètre, la boule b est reliée à l'un des pôles d'une bobine de Ruhmkorff dont l'autre pôle communique avec les tuyaux de gaz. Lorsque la bobine fonctionne, un flux d'étincelles jaillit entre a et b, et, à chaque étincelle, le condensateur est le siège de charges et de décharges oscillatoires dont la période est de l'ordre du $\frac{1}{25000000}$ de seconde.

Fig. 1.



Comme la plaque AA' communique avec les tuyaux de gaz, elle forme écran, et aucune force électrique permanente à variation lente ne peut exister dans l'espace situé du côté de AA' opposé à BB'; par contre, cet espace est le siège de forces électromagnétiques à très courtes périodes dues aux décharges oscillatoires du condensateur. Ce champ électromagnétique périodique est extrêmement complexe, mais, et c'est ici le point capital, il admet comme plan de symétrie le plan XX.

Fixons maintenant, dans ce champ, deux plaques carrées CD, C'D', de 10^{cm} de côté, parallèles au plan AA', à la même distance $3^{cm},5$ de ce plan et symétriques par rapport à XX; puis soudons aux deux milieux D et D' de leurs bords internes deux fils DE et

Digitized by Google

D′E′ aboutissant d'autre part à deux pointes de charbon à lumière E et E′, maintenues en regard à une distance très petite, réglable par le moyen d'une vis micrométrique.

Lorsque la bobine fonctionne et que de fortes étincelles oscillatoires éclatent entre *a* et *b*, on n'observe entre les charbons E et E′ aucune lueur; cela résulte de la symétrie de l'appareil : les actions inductrices reçues par CD et C′D′ sont, à tout instant, égales entre elles et ne peuvent donner naissance à une force électromotrice entre E et E′.

Interposons entre AA′ et CD une lame d'une substance diélectrique quelconque, de verre par exemple; aussitôt nous voyons des étincelles jaillir entre E et E′ : l'induction reçue par CD, devenue plus forte, l'emporte sur celle que reçoit C′D′, et la force électromotrice résultante en EE′ n'est plus nulle.

Interposons maintenant entre AA′ et la seconde plaque induite C′D′ une seconde lame diélectrique, de soufre par exemple, dont nous imaginerons pour un instant l'épaisseur variable à volonté; si l'on fait croître cette épaisseur à partir de zéro, les étincelles diminueront en EE′, et, lorsqu'elle sera devenue telle que l'action inductrice reçue par C′D′ soit égale à celle que reçoit CD, la symétrie électrique sera rétablie, et les étincelles disparaîtront en EE′.

Réciproquement, la disparition des étincelles en EE′ indiquera que l'induction transmise à CD et l'induction transmise à C′D′ sont égales : il suffira alors de mesurer les épaisseurs des deux lames diélectriques interposées pour déterminer par un calcul facile le rapport des constantes diélectriques du verre et du soufre.

Je vais maintenant expliquer comment j'ai appliqué la méthode dont je viens d'exposer le principe, et indiquer les précautions grâce auxquelles elle a pu devenir sensible et fournir des résultats précis.

La difficulté principale était la suivante : comme il faut une force électromotrice finie pour produire une étincelle, celle-ci n'apparaît que lorsque l'épaisseur de la lame compensatrice diffère de sa valeur théorique d'une quantité finie; en d'autres termes, l'absence d'étincelle perceptible correspond, non à une épaisseur exactement déterminée de la lame compensatrice, mais

Digitized by Google

à toutes les épaisseurs de cette lame comprises entre deux valeurs limites. Je me suis attaché à rapprocher ces limites, en augmentant d'une part l'acuité visuelle, et d'autre part en diminuant autant que possible les forces électromotrices nécessaires pour produire l'étincelle.

Je remplis la première indication en employant un microscope à large oculaire et à faible grossissement, soigneusement mis au point et dont l'axe est dans le plan de symétrie XX; de plus, afin d'augmenter l'intensité lumineuse par la répétition des impressions, j'ai muni la bobine d'induction de l'interrupteur rapide de M. M. Deprez.

La seconde indication est remplie par un réglage exact des charbons E et E'. Pour y procéder, je commence par toucher avec la main l'un des fils DE ou DE', ce qui produit en EE' de vives étincelles, puis, à l'aide de la vis micrométrique, je diminue la distance des pointes de charbon, jusqu'à ce que ces étincelles soient réduites à une lueur à peine visible; dans cet état, l'appareil est très sensible.

Enfin, pendant l'observation, je donne avec une règle de bois de légers coups répétés à intervalles égaux sur le support des charbons : de cette façon, ceux-ci viennent se toucher d'une manière intermittente, en sorte que leur distance varie d'une manière continue de zéro à une valeur très petite. Dans ces conditions, une force électromotrice pour ainsi dire infiniment petite produit la décharge; on constate, en effet, que, les lames diélectriques étant enlevées, une différence de $0^{cm},15$ environ sur $3^{cm},5$, entre les distances de CD et C'D' à AA', suffit pour faire apparaître une lueur.

Je rapporterai ici une expérience accessoire qui prouve que les plaques CD et C'D' sont complètement protégées par AA' contre l'action des charges relativement lentes qui précèdent chaque décharge du condensateur, et que les seuls effets d'influence subis par ces plaques sont dus aux oscillations très rapides; si l'on augmente la distance entre les boules a et a' de façon à empêcher l'étincelle primaire, on constate que toute étincelle secondaire disparaît; la charge lente du condensateur primaire est cependant plus grande ici que lorsque l'étincelle éclate, mais, par contre, les oscillations sont supprimées; c'est donc bien à leur existence qu'est due l'étincelle secondaire.

Digitized by Google

Mesures. — La plaque de verre que j'ai employée a exactement 3^{cm} d'épaisseur; c'est un morceau rectangulaire d'une dalle transparente; les côtés du rectangle ont 25^{cm} et 28^{cm}.

J'ai coulé, d'autre part, plusieurs lames de soufre d'épaisseurs croissantes jusqu'à obtenir approximativement la compensation de la lame de verre; connaissant ainsi à peu près l'épaisseur nécessaire, j'ai coulé deux plaques de soufre, en forme de prismes de même angle, de telle façon qu'en les accolant (comme dans le compensateur de Babinet), on reforme une lame à faces parallèles ayant l'épaisseur approximative trouvée : on pourrait augmenter ou diminuer celle-ci en faisant glisser l'une sur l'autre les faces accolées des prismes.

A l'aide de ce dispositif, j'ai déterminé les deux limites, inférieure et supérieure, de l'épaisseur pour laquelle l'étincelle est invisible : ces deux limites étaient du reste très rapprochées, puisqu'elles ne différaient que d'environ $0^{cm},075$ sur 3^{cm}.

En prenant la moyenne de douze limites supérieures et de douze limites inférieures, j'ai trouvé $3^{cm},15$ pour l'épaisseur de la lame de soufre compensant exactement la lame de verre.

Pour achever de déterminer la constante diélectrique du verre, il fallait connaître celle du soufre que j'employais; cela était du reste facile, puisque le soufre est, comme on sait, un diélectrique presque parfait. J'ai employé la méthode indiquée par M. Jacques Curie [1], laquelle repose sur l'emploi d'un quartz piézoélectrique, et j'ai trouvé le nombre 2,94.

En désignant par x la constante diélectrique du verre et écrivant que les capacités du côté du verre et du côté du soufre sont les mêmes, on a l'équation

$$\frac{3,15}{2,94} = 3,15 - 3 + \frac{3}{x},$$

d'où l'on déduit

$$x = 2,8 = (1,67)^2.$$

Comme on le voit, ce résultat est presque identique à celui de M. J. Thomson qui, comme je l'ai dit en commençant, a trouvé $2,7 = (1,65)^2$. Il faut même remarquer que le nombre 2,94 que

---

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 1889.

Digitized by Google

j'ai trouvé pour la constante diélectrique de ma lame de soufre par la méthode de M. J. Curie peut être trop fort, puisque ce soufre n'est vraisemblablement pas un diélectrique parfait.

Il y a donc concordance des plus satisfaisantes entre ma détermination et celle de M. J. Thomson. Quant à la loi de Maxwell, elle n'est pas vérifiée exactement, puisque l'indice moyen de mon verre est 1,51 environ, mais l'écart est beaucoup moins grand que celui que donnaient les valeurs des constantes diélectriques obtenues à l'aide de méthodes plus lentes. Ma conclusion est donc la même que celle de M. Thomson.

Il resterait à expliquer le résultat obtenu par M. Lecher; je n'ai pu faire à ce sujet que des conjectures : l'explication réside peut-être dans ce fait que M. Lecher fait varier la distance des armatures du condensateur, tandis que, dans celles de M. J. Thomson et dans les miennes, la position des conducteurs demeure invariable. Au début de mes expériences, j'avais essayé de comparer directement la constante diélectrique du soufre à celle de l'air en interposant la lame de soufre entre AA′ et CD, puis rapprochant C′D′ de AA′ jusqu'à la disparition de l'étincelle : les nombres ainsi obtenus étaient beaucoup trop grands; de plus, en opérant de la même manière sur le verre, le rapport des deux nombres obtenus n'était pas égal au rapport des constantes diélectriques du verre et du soufre mesuré sans intermédiaire par la même méthode. J'ai donc abandonné celle-ci comme vicieuse.

Je ferai remarquer, en terminant, que la faible différence entre les épaisseurs de ma lame de verre, 3^{cm}, et de la lame de soufre équivalente, $3^{cm},15$, est une circonstance très favorable à l'exactitude du résultat : il en résulte, en effet, que la distribution des lignes de force est sensiblement la même des deux côtés, ce qui ne serait vraisemblablement pas vrai pour des lames d'épaisseurs très différentes.

Digitized by Google

Appareils d'électricité statique;

Par M. Boudreaux.

Les appareils d'électricité statique que j'ai l'honneur de présenter à la Société de Physique peuvent fonctionner par les temps les plus humides, sans qu'il soit nécessaire d'user de la chaleur ou de l'acide sulfurique pour rendre les supports suffisamment isolants. Ce sont les suivants :

Électroscope à feuilles d'or, à isolateur en paraffine et à cage de verre conductrice. — La tige métallique qui supporte les feuilles d'or est isolée par un épais et large bouchon de paraffine qui ferme le col d'un flacon dont le verre est bon conducteur de l'électricité à la température ordinaire. On s'en assure facilement en provoquant un écart des lames d'or assez grand pour qu'elles aillent toucher les parois; on les voit aussitôt retomber dans la verticale.

Pour maintenir l'appareil en bon état, la paraffine doit être mise à l'abri des poussières de l'air. A cet effet, l'appareil est muni d'un couvercle métallique qui sert à la protéger, une fois les expériences terminées.

L'isolement est si parfait que, après douze heures, l'appareil conserve encore des traces de la charge qu'on lui a donnée. Muni de son couvercle, il constitue une enveloppe conductrice complètement fermée et il peut, dans ces conditions, présenter encore des traces de sa charge après plusieurs mois. Ces expériences réussissent fort bien, même quand les feuilles d'or sont dans une atmosphère de vapeur d'eau. Je présente, en effet, à la Société un électroscope muni de son couvercle, dont les feuilles d'or divergent de 40° environ depuis trois jours et dont le fond est recouvert d'une couche d'eau de 1^{cm} de hauteur à peu près.

L'électroscope à isolant de paraffine a été conçu en 1870. A quelque temps de là, j'étais conduit naturellement aux expériences précédentes. Ce sont, ce me semble, les premières établissant que la vapeur d'eau est aussi bon isolateur que l'air sec. Aussi je compte présenter un jour à la Société un électromètre à cadran de cours dont l'acide sulfurique sera remplacé par de l'eau.

Digitized by Google

Cet électroscope peut rendre les plus grands services dans un cours élémentaire si l'on consent à l'introduire, dans une première leçon d'électricité, dès les premières phases pour ainsi dire. Ne peut-il pas, en effet, par la divergence de ses feuilles, servir à montrer, comme les corps légers et le pendule électrique, que le frottement développe de l'électricité sur le verre et sur la résine? Il devient, dès lors, facile de faire voir que les métaux peuvent aussi s'électriser par le frottement. Cette expérience réussit sans difficulté quand le métal est supporté par une tige de paraffine tenue à la main, mais alors il faut le frapper d'un coup *rapide,* avec une excellente peau de chat. L'appareil approché du bouton de l'électroscope imprime aux feuilles une grande divergence.

L'expérience réussit encore si le métal précédent (façonné à dessein en un tube cylindrique) est coiffé, *en partie,* par un second tube métallique. Bien que le premier seul reçoive le frottement énergique de la peau de chat, le second s'électrise également, comme on peut s'en assurer à l'électroscope. Cette expérience établit la conductibilité des métaux, c'est-à-dire la charge par contact des métaux entre eux. On peut donc charger l'électroscope par contact en touchant son bouton avec l'un des tubes de l'appareil précédent. Nous sommes maintenant en mesure de reproduire la curieuse expérience de Gray suivante :

Réunissons le bouton de l'électroscope (lequel peut jouer le rôle de borne) par un fil métallique fin, aussi long qu'on voudra, à la borne, soudée à dessein au tube métallique de l'appareil précédent, toujours tenu à la main par son manche de paraffine. Appliquons un coup de peau de chat *rapide,* sur l'un des tubes, et nous observerons une divergence notable des feuilles d'or. Quant au fil, s'il est très long, il pourra être maintenu par des supports muraux de paraffine, dont je présente quelques spécimens.

De là, on passe aux expériences classiques de Dufay, et l'on termine en montrant que l'électroscope, mieux encore que le pendule électrique, peut déceler la nature de l'électricité des corps. Il est vrai qu'on expérimente comme si la théorie de l'électroscope était connue. Mais qui empêche de donner le procédé sans l'accompagner d'explications, c'est-à-dire de l'admettre comme déduit de l'expérience?

Digitized by Google

Tabourets à pieds de paraffine. — Ce sont des tabourets électriques ordinaires dont les pieds de verre sont remplacés par des pieds de paraffine. Là encore, la paraffine doit être mise à l'abri des poussières : chaque pied a son couvercle métallique.

Ces tabourets peuvent servir à montrer, au moyen de l'électroscope, que le corps humain est bon conducteur de l'électricité et que, frappé par une peau de chat, il se charge négativement comme un métal. Ils peuvent servir aussi à répéter l'expérience de conductibilité que Gray faisait avec un long fil métallique. On peut, en effet, faire une expérience analogue avec une chaîne humaine formée de plus de trente personnes montées chacunes sur un tabouret isolé par la paraffine. Un seul coup vigoureux, de peau de chat, donné sur la main de la personne qui forme une des extrémités de la chaîne, suffit pour charger l'électroscope dont le bouton est touché par la personne qui occupe l'autre extrémité.

On peut encore faire une expérience analogue à celle de Wilcke et montrer l'équivalence des électricités contraires d'une manière parfaite. Il suffit pour cela de faire monter deux personnes de même taille ou de tailles différentes sur des tabourets électriques. Chacune d'elles touche le bouton d'un électroscope à feuilles d'or. L'une frappe l'autre, d'un coup *rapide,* avec une *bonne* peau de chat; on voit les deux électroscopes diverger. Il est facile de s'assurer qu'ils sont chargés d'électricités contraires. Si maintenant les deux personnes viennent à se toucher par la main restée libre de tout mouvement, on voit les feuilles d'or des deux électroscopes retomber dans la verticale.

Plans d'épreuve divers. — Les uns sont constitués par un disque métallique d'aluminium, plan ou concave, à peu près du diamètre d'une pièce de cinq centimes, collé à l'extrémité d'un long manche de paraffine; d'autres sont formés par une rondelle d'aluminium de 2^{mm} ou 3^{mm} de diamètre fixée à l'extrémité d'un fil de cocon.

Électrophore à gâteau et à manche de paraffine. — Le plateau est pourvu d'un manche en paraffine protégé contre les poussières atmosphériques par un tube métallique que l'on enlève

Digitized by Google

au moment ou l'on veut se servir de l'appareil. Le gâteau est formé d'un mélange de paraffine, de gomme laque et de colophane. Pour cette raison, il ne se fendille jamais. La matière est coulée dans un moule métallique jusqu'à cinq millimètres des bords environ. De la sorte, les personnes sensibles aux étincelles électriques n'ont qu'à glisser le plateau sur le gâteau, préalablement battu avec la peau de chat, jusqu'au contact de son bord métallique : la communication avec le sol est ainsi établie. On ramène ensuite le plateau au milieu du gâteau, puis on l'enlève par *l'extrémité* du manche isolant. Cet appareil fonctionne par tous les temps et donne toujours assez d'électricité pour les expériences de cours; il peut même, par les temps les plus défavorables, conserver sa charge pendant longtemps quand on a soin de laisser reposer le plateau sur le gâteau.

Quand on n'a besoin que d'une très faible charge, on n'utilise que celle qu'on obtient par influence du gâteau sur le plateau suffisamment *éloigné*. On peut ainsi charger par contact un électroscope à un aussi faible potentiel que l'on veut.

On peut se servir du gâteau pour obtenir une charge constante d'électricité : il suffira de poser un des plans d'épreuve sur un point de la surface du gâteau facile à reconnaître, de toucher avec le doigt le disque métallique, de retirer le doigt, puis d'enlever le plan d'épreuve. On peut constater à l'électroscope que cette charge est sensiblement constante. On pourra s'en servir pour faire passer à la surface d'un cylindre métallique creux isolé un certain nombre de ces charges égales. Chacune d'elles, même, peut être prise momentanément pour *unité,* ce qui est fort avantageux pour faire comprendre ce qu'on doit entendre par capacité électrique, pour étudier la condensation électrique, faire une détermination suffisamment approchée de la force condensante devant les élèves et, enfin, réaliser dans un cours la détermination suivante :

Appareil pour donner, dans un cours élémentaire, une idée de la mesure des capacités électriques. — Cet appareil comprend deux sphères dont les diamètres sont dans le rapport de 1 à 2, un cylindre de Faraday isolé, un électroscope à feuilles d'or, une lampe à gaz ou à pétrole pour projeter, au moyen d'une lentille, l'image des feuilles d'or sur un écran. Le cylindre est relié à l'électroscope

Digitized by Google

par un fil fin et long de 2^m environ, qui touche vers le milieu de sa longueur la petite sphère.

Supposons qu'on charge intérieurement le cylindre de dix *unités* pour obtenir sur l'écran une déviation conventionnelle des feuilles d'or, égale à 9 par exemple; enlevons la sphère, déchargeons-la, puis remettons-la en place. Il faudra peut-être ajouter trois nouvelles unités dans le cylindre pour retrouver la déviation 9. On peut donc dire que la capacité de la petite sphère est 3. On trouverait de même que celle de la grande est 6.

Par un procédé analogue on pourra déterminer la capacité du cylindre lui-même, celle du fil (celui que je présente au public a $\frac{1}{50}$ de millimètre de diamètre), celle de l'électroscope et celle du corps humain. On verra alors que, contrairement à ce que l'on croit habituellement, la capacité du fil et celle de l'électroscope sont loin d'être négligeables devant celle des sphères et cylindres ordinairement en usage dans les cabinets de Physique.

Appareil pour l'étude de l'influence électrique. — Cet appareil consiste en un cylindre métallique vertical soutenu par un support horizontal en paraffine et le long duquel se trouvent huit petits pendules d'une grande légèreté, formés par du papier très mince et métallisé.

Pour éviter la flexion de la paraffine sous l'action du poids du cylindre, ce dernier est, de plus, soutenu par une tige d'ébonite *complètement englobée* dans la paraffine.

Soustraite ainsi à l'action de l'air, l'ébonite ne s'altère pas et reste mauvaise conductrice.

Quand l'appareil n'est pas en expérience, la paraffine doit être rentrée dans son tube protecteur.

On s'assure que l'appareil est en bon état, en chargeant le cylindre par contact avec le plateau de l'électrophore; les pendules doivent garder pendant plus d'un quart d'heure une divergence constante voisine de 90°.

Si l'on prend, comme source électrique, le gâteau de l'électrophore, on peut, en l'approchant graduellement de l'extrémité inférieure du cylindre, déterminer des phénomènes d'influence de plus en plus marqués.

La ligne neutre est très visible; en un mot, on peut répéter, avec

Digitized by Google

cet appareil, toutes les expériences classiques relatives à l'influence électrique.

Si l'on prend comme source un gâteau de paraffine pure, ce dernier peut être approché de l'extrémité inférieure du cylindre sans qu'il cède rien par contact au conducteur, s'il vient à le toucher. Mais ce résultat n'est acquis qu'à une condition, c'est que la surface de la paraffine ait été mise soigneusement à l'abri de la poussière.

Ellipsoïde. — Cet ellipsoïde est isolé par le procédé qui vient d'être décrit pour le cylindre d'influence. Il est formé d'un bois léger, et rendu aussi peu lourd que possible par une cavité intérieure. Sa surface est dorée. On peut nettement montrer dans un cours la différence de densité électrique aux extrémités de ses axes en se servant d'un plan d'épreuve à tige de paraffine et d'un électroscope à feuilles d'or.

Condensateur d'Œpinus. — Imaginons que, dans l'appareil pour l'influence décrit précédemment, le cylindre soit remplacé par un plateau métallique vertical. Concevons maintenant l'ensemble de deux appareils identiques à celui que l'on vient d'obtenir ainsi, on aura un condensateur d'Œpinus.

Placés en face l'un de l'autre, en vue d'une expérience, les deux plateaux pourront être rapprochés ou éloignés, au gré de l'opérateur, sans qu'il soit pour cela nécessaire d'agir sur leurs pieds. Il suffira, à cet effet, de faire glisser dans les tubes protecteurs horizontaux les manches de paraffine qui isolent les plateaux.

Rien n'est plus simple que de faire dans un cours une détermination de force condensante.

Joignons en effet par un fil métallique fin le plateau collecteur à un électroscope et à un cylindre de Faraday isolé, pendant que le plateau condensateur est en communication avec le sol; il sera facile, en suivant les indications données précédemment, de déterminer le nombre d'*unités* de charge, sept par exemple, qu'il faudra pour donner aux feuilles d'or la déviation conventionnelle 9, le plateau condensateur étant éloigné. La capacité de l'appareil, constitué par le cylindre, le plateau collecteur et l'électroscope, est donc 7. On rapprochera ensuite le plateau condensateur, jusqu'à

Digitized by Google

ce que les plateaux soient à une distance de quelques millimètres seulement. On verra les feuilles d'or se rapprocher notablement. Pour les ramener à la déviation 9, il faudra ajouter quatorze autres unités de charge, par exemple, dans le cylindre. La nouvelle capacité est donc 14 + 7 ou 21 : c'est-à-dire qu'elle est égale à trois fois l'ancienne. Si l'on éloigne maintenant le plateau condensateur, les feuilles d'or s'écartent d'un angle considérable, le potentiel devenant trois fois plus grand sur l'appareil constitué par le cylindre, le plateau collecteur et l'électroscope.

Électromètre condensateur. — Cet appareil est à larges plateaux. Son plateau inférieur est isolé par un cylindre de paraffine, qu'une enveloppe métallique peut mettre à l'abri des poussières. Avant de se servir de l'appareil, il est important de ne pas oublier de dégager la paraffine en descendant son cylindre protecteur.

Avec cet appareil on met très nettement en évidence la différence de potentiel que présentent les pôles d'un élément cuivre-zinc-eau ordinaire. En touchant, en effet, les deux plateaux avec les extrémités des rhéophores de l'élément en question, enlevant simultanément les fils, puis soulevant le plateau supérieur, on observera que les feuilles d'or divergent d'un angle de 20° environ.

Il est bon que les fils soient recouverts d'une matière isolante comme la gutta-percha, par lesquels on les saisit.

Cette notable divergence tient à la surface des plateaux et aux soins qui ont été apportés dans leur dressage et leur vernissage. Aussi peut-on, avec cet appareil, mettre en évidence une différence de potentiel d'un quart de volt.

Digitized by Google

SÉANCE DU 17 AVRIL 1891.

PRÉSIDENCE DE M. FRIEDEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 3 avril est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Baume Pluvinel (Comte Aymar de la), à Paris.
Bloch (Salvador), Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand.
Bonaparte (Prince Roland), à Paris.
Collot (Armand), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'instruments de précision, à Paris.
Combes (Charles), Professeur à l'Ecole de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris.
Detaille (Charles), Professeur au Lycée de Saint-Brieuc.
Gramont (Armand de), Licencié ès Sciences physiques, à Paris.
Grouvelle, Ingénieur, Professeur à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures.
Guéroult, Trésorier-Payeur général à Rennes.
Henry (Edouard), Professeur au Lycée de Lorient.
Lefèvre (Julien), Professeur au Lycée de Nantes.
Meyer, Directeur de la Compagnie Continentale Edison, à Paris.
Thierry (Maurice de), Docteur en Médecine à Paris.
Vasseur (Alfred), à Amiens.

M. le Président donne lecture de la Lettre suivante, adressée par M. *Blondel:*

Monsieur le Secrétaire,

J'ai lu dans le compte rendu de la Séance du 20 mars 1891, à laquelle je n'ai pas assisté, la remarque faite par M. Paul Janet au sujet de la lettre de M. Weiss; je profite de ce que cette question de l'enregistrement continu des courbes relatives aux machines a été soulevée, pour faire savoir à la Société que j'ai eu de mon côté, il y a déjà assez longtemps, la même idée que MM. Janet et Weiss. J'avais même fait récemment construire, pour le Dépôt des Phares, un appareil destiné à l'emploi de la méthode stroboscopique dont je me sers actuellement pour l'étude d'une dynamo alternative.

Cet instrument n'est pas un instrument scientifique comme ceux de M. Weiss; c'est un appareil industriel, qui diffère des dispositifs ordinaires par l'emploi de deux contacts successifs et d'un condensateur.

On peut de cette façon inscrire la courbe, au moyen d'un simple galvanomètre Deprez-d'Arsonval, sur un papier sensible.

J'ajouterai que dans certains cas il peut y avoir lieu de préférer à la méthode stroboscopique d'autres méthodes plus directes, telles que celle de Fröhlich.

Veuillez agréer, etc.

Blondel.

Digitized by Google

Le Commandant Defforges présente à la Société le nouvel appareil de base bimétallique construit par MM. Brunner frères pour le Service géographique de l'armée. Il se compose d'un fort T renversé en fer, de 4^m de longueur, muni de poignées servant à le transporter. Ce T porte deux règles superposées, en forme de lame mince (4^{mm} sur 15^{mm} de section).

Ces lames, saisies et rendues solidaires en leur milieu par une sorte de pince fixée au T, sont supportées à la face supérieure de celui-ci par des rouleaux mobiles sur lesquels elles peuvent librement glisser. La lame supérieure (platine iridié à 10 pour 100) est percée à ses extrémités de rainures dans lesquelles glissent des talons soudés à la lame inférieure, de laiton. Au bord de la rainure de la règle de platine sont tracés deux traits, 0 et 4000, correspondant à une longueur voisine de 4^m comprise entre les deux traits. Les talons de la règle de laiton portent une division en dixièmes de millimètre. On peut donc, sur l'un des bords des rainures de la règle de platine, lire la position d'un de ses traits terminaux par rapport aux traits de la règle de laiton. La règle de platine est en outre divisée en centimètres sur toute sa longueur. Le T reposant sur ses points neutres, les règles ont été rendues sur toute leur longueur parfaitement horizontales à l'aide d'un niveau et des rouleaux de support qui sont mobiles. Les règles ont donc leur longueur réelle lorsque le T est supporté par ses points neutres.

L'ensemble des deux règles constitue un thermomètre métallique assez sensible dans lequel 1° C. correspond à une différence de longueur d'environ 40 microns. En supposant les deux règles à la même température il donne facilement le 20e de degré.

La longueur à 0 et le coefficient de dilatation des deux règles ont été déterminés à Breteuil, au Bureau international des Poids et Mesures, sous la direction de M. Benoît. La longueur a été obtenue en comparant quatre fois, avec trois observations différentes, chaque mètre de la règle de platine avec le mètre I_2 du Bureau. Les coefficients de dilatations ont été mesurés à l'aide de soixante comparaisons faites entre les deux règles, à des températures variant de 2 à 40°, et la règle G_2 du Bureau international (règle de 4^m) maintenue à une température constante.

On a trouvé

$$P_t = 4000329^\mu + (34^\mu,463 + 0^\mu,00676\,t)\,t,$$
$$I_t = 4000735^\mu + (72^\mu,333 + 0^\mu,02628\,t)\,t.$$

Pour la mesure, l'appareil est porté successivement sur l'alignement de la base, sous des couples de microscopes verticaux dont les axes optiques, soigneusement réglés, et distants de 4^m environ, sont dans le plan vertical contenant la ligne à mesurer. La différence des lectures aux mêmes fils des micromètres des règles platine et laiton donne la différence de leurs longueurs et par conséquent la température. On en déduit la distance actuelle des traits 0 et 4000, distance à laquelle on compare en même temps la distance des axes optiques du couple de microscopes envisagé.

Digitized by Google

La base Villejuif-Juvisy, ainsi mesurée en 1890, a donné :

Première mesure.....	$7226^{m}887^{mm},8$
Deuxième mesure.....	$7226^{m}896^{mm},7$
$\Delta =$	$-8^{mm},9$

On en déduit, par la triangulation, la base de Delambre :

Melun-Lieusaint (mesure nouvelle).....	$11842^{mm},14$
» (Delambre).....	$11842^{mm},15$
$\Delta =$	$-0^{mm},01$

Cette concordance est certainement due en partie à une heureuse compensation d'erreurs. On doit cependant en conclure que le mètre international actuel paraît identique au mètre défini par la Commission des Poids et Mesures à la fin du siècle dernier.

M. Ed. Branly expose les premiers résultats de ses recherches sur les variations de conductibilité de certaines substances sous diverses influences électriques.

Les substances qui présentent au plus haut degré ces variations de conductibilité sont les poudres et limailles métalliques.

On sait que les métaux en poudre fine arrêtent le courant électrique. On sait aussi que la pression diminue considérablement la résistance.

Le fait nouveau est celui-ci : le passage d'un courant de haute tension, direct ou induit, accroît la conductibilité dans une très forte proportion, parfois de plusieurs millions d'ohms à quelques ohms et l'effet est persistant. L'expérience se fait aisément avec les limailles de fer, aluminium, antimoine, etc.; elle réussit même avec la grenaille de plomb. Il suffit de relier la colonne de limaille aux deux pôles d'une pile de 100 volts, ou d'y faire passer de faibles courants induits, ou des décharges de condensateurs, ou même de produire des étincelles à quelque distance.

Il est souvent avantageux de combiner l'action de la pression et l'influence électrique. On rend ainsi aisément conducteur le cuivre réduit par l'hydrogène. De même, le cuivre porphyrisé appliqué avec un brunissoir sur une plaque d'ébonite constitue une des substances les plus sensibles aux actions électriques.

On obtient les mêmes résultats en substituant ou en associant à l'air interposé entre les particules métalliques d'autres diélectriques. Sont ainsi rendus conducteurs des mélanges de fleur de soufre et de poudre d'aluminium. En chauffant dans un tube de verre, à la température de fusion du soufre, un mélange de poudre d'aluminium et de fleur de soufre, on a un crayon solide qui devient et reste conducteur. Même résultat avec un mélange de poudre d'aluminium et de résine. Pour de tels corps solides, il est difficile de supposer des déplacements mécaniques de particules aux-

Digitized by Google

quels on serait tenté tout d'abord d'attribuer ces variations de conductibilité.

Quelques circonstances dans l'étude du phénomène présentent un intérêt spécial.

L'action produite à distance par les étincelles électriques a lieu sous une cloche de verre; elle n'a plus lieu si la substance est enfermée dans une enceinte métallique.

Le choc produit le retour à la résistance primitive : les trépidations de la rue, la marche dans une salle voisine suffisent si l'action a été faible; des chocs violents, des coups de marteau sur la table qui sert de support, sont nécessaires quand l'action a été forte.

Une élévation de température produit aussi le retour. Ainsi une plaque d'ébonite cuivrée placée près d'un bec de gaz reprend rapidement sa résistance. Même retour rapide avec un crayon de poudre d'aluminium et de résine tenu entre les doigts.

Lorsque par un choc on a rétabli la résistance primitive et que le galvanomètre qui sert aux mesures est revenu au zéro, la conductibilité est souvent reproduite par une action électrique beaucoup plus faible que celle du premier départ. Ce paraît être un effet résiduel analogue à ceux du magnétisme et de la polarisation.

Quelle peut être la cause de ces variations de résistance? Le rapprochement mécanique des particules métalliques est impossible dans la plupart de ces expériences; faut-il songer dans le cas de la limaille à une volatilisation partielle des particules créant un milieu conducteur entre les grains métalliques; dans le cas des mélanges de poudres métalliques et de substances isolantes faut-il imaginer que les minces couches isolantes sont percées par le passage de très petites étincelles et que le trajet des petits conduits dus à ces étincelles se tapisse de matière conductrice entraînée? Il est plus probable que le courant agit directement sur les couches minces du milieu interposé et les rend conductrices par une déformation spéciale, susceptible d'un retour complet ou incomplet.

La diminution de résistance n'est pas toutefois le seul phénomène observé. Il y a augmentation de résistance dans un grand nombre de cas et dans des conditions différentes de la diminution. C'est ainsi que certains verres platinés offrent une diminution de résistance par de faibles actions électriques et une augmentation par une vive électrisation.

A la suite de cette Communication, M. Gariel fait observer qu'il s'est occupé du même sujet à propos de la conductibilité des alliages. Il a observé également l'influence des chocs sur la variation de conductibilité des poudres. Ces variations sont dues, d'après lui, à des mouvements des particules métalliques, et c'est en admettant cette explication qu'il a dû renoncer à ses expériences.

M. Branly répond que cette explication doit être incomplète, car il suffit

Digitized by Google

de chocs extrêmement faibles pour obtenir ces variations de conductibilité, alors que la poudre est soumise à une pression extrêmement forte et que, par suite, ses particules sont dans des conditions qui ne leur permettent pas de se déplacer facilement les unes par rapport aux autres.

M. Charles Henry présente les résultats de *Recherches nouvelles d'olfactométrie*. On sait que le but de l'*olfactomètre* est de déterminer l'intensité d'un parfum par l'inverse du poids de vapeur odorante nécessaire au minimum perceptible. L'instrument construit par G. Berlemont consiste essentiellement en un réservoir de verre traversé par deux tubes glissant l'un dans l'autre : un tube de papier et, à l'intérieur de celui-ci, un tube de verre gradué en millimètres, dont on introduit l'extrémité dans une des narines et qui en s'appliquant rigoureusement contre le papier empêche, lorsqu'il est abaissé, le passage de la vapeur. Une fois le réservoir saturé de vapeur, l'opérateur note la seconde, soulève le tube de verre d'un mouvement uniforme, note la seconde et arrête le mouvement, au moment où la sensation minima se produit, par suite de l'écoulement de la vapeur, à travers le papier, du réservoir dans le tube. Avec la hauteur du soulèvement z, la durée t, avec une constante de l'appareil qui dépend du rayon du tube de papier R, enfin avec une constante du corps odorant, c'est-à-dire le poids Q′ qui passe du réservoir dans le tube, le réservoir étant saturé, on peut calculer le poids de vapeur P_0 qui a passé successivement dans le tube.

Pour connaître Q′, il fallait relier cette quantité à une autre plus accessible à l'expérience. Voici comment il a été possible de la rattacher à la vitesse d'évaporation du parfum à l'air libre, soit q. Soient deux surfaces d'évaporation égales à l'unité, l'une à air libre, l'autre recouverte du papier de l'olfactomètre, c'est-à-dire d'un septum flexible, au-dessus et au-dessous duquel la pression totale est la même, les pressions partielles de la vapeur et de l'air étant différentes; en désignant par A une constante dépendant à la fois du liquide et de la pression atmosphérique, on a pour q, F étant la tension maximum, f la tension de la vapeur dans l'air,

$$q = A(F - f).$$

Dans le cas de la surface recouverte du papier, la pression de la vapeur a immédiatement au-dessus de la membrane la valeur f nulle en général, mais immédiatement au-dessous la valeur φ notablement différente, de sorte qu'il faut poser pour la vitesse d'évaporation q'

$$q' = A(F - \varphi).$$

Des expériences poursuivies avec M. Gustave Robin ont donné ce résultat remarquable que $\frac{q'}{q}$ est le même pour tous les corps et égal en moyenne à $0^m,65$, soit α ce rapport. Si, poursuivant l'analogie de la diffusion de la

Digitized by Google

vapeur avec la diffusion de la chaleur, on considère un coefficient θ analogue au pouvoir émissif de la surface, et qui ne dépend que du papier et du corps, on peut poser

$$q' = \theta(\varphi - f),$$

d'où $\theta = A \frac{\alpha}{1-\alpha}$, et comme on a également $Q' = \theta F$, puisque f est négligeable, il vient

$$Q' = q \frac{\alpha}{1-\alpha}.$$

Pour déterminer q on a recouru à un aréomètre très sensible dont la tige d'acier nickelé, de $0^{mm},5$ environ, se déplace dans l'alcool le long d'une règle divisée en millimètres. Cet appareil appelé *pèse-vapeur* est surmonté d'une coupelle d'argent de $0^{cc},570$ environ, destinée à contenir le liquide odorant. On maintient la température bien constante et par une manipulation spéciale on élimine l'influence de la capillarité. L'appareil est gradué empiriquement avant et après chaque évaporation. Au début l'évaporation est en général intense : elle ne devient proportionnelle au temps qu'au bout de quelques minutes pour les huiles essentielles. Connaissant π le poids de liquide évaporé, on a q par le quotient $\frac{\pi}{St}$, S étant la surface, t le temps. S a été calculé en fonction de v, le volume mesuré au compte-gouttes du liquide disposé dans la coupelle par la formule

$$S = \sqrt{2\pi D v}\left(1 - \frac{2}{3}\sqrt{\frac{2v}{\pi D^3}}\right),$$

dans laquelle D représente le diamètre de la sphère dont la coupelle est une calotte.

Le minimum perceptible de l'odeur p est la différence entre le poids de vapeur qui passe dans le tube, P_0 et le poids de vapeur restant dans l'instrument P. Il fallait déterminer une fois pour toutes le volume de vapeur v absorbé à une inspiration donnée dans le tube V. Une expérience sur l'acide carbonique a conduit à ce rapport $\frac{v}{V} = 0,0173$. Connaissant l'arc α décrit par le stylet du pneumographe, R le rayon du thorax pour un sujet absorbant à chaque inspiration le volume v, on connaît le volume v' absorbé par un autre sujet de rayon thoracique R' et dont l'arc au pneumographe est α', par la relation $v' = \frac{R'\alpha' v}{R\alpha}$. L'intégration conduit pour les deux poids cherchés aux valeurs suivantes :

$$P_0 = \pi R Q' z t, \qquad p = \frac{P_0 n r}{3},$$

n étant le nombre des inspirations, r le rapport 0,0173. L'auteur a trouvé

Digitized by Google

sur lui-même pour minima perceptibles en millièmes de milligramme les valeurs suivantes :

Ylang-Ylang.....	0,331	Wenter-green....	12,22
Menthe.....	37,9	Lavande.....	1343,1

Variations de conductibilité des isolants sous diverses influences électriques;

PAR M. É. BRANLY.

Sous diverses influences électriques, agissant directement ou à distance, un grand nombre de substances éprouvent des variations de conductibilité persistantes, qui n'avaient pas encore été observées.

Les corps dont il s'agit sont très variés : limailles et grenailles métalliques, métaux réduits et porphyrisés, mélanges de poudres isolantes et de poudres métalliques, poudres de quelques oxydes et sulfures métalliques, plaques d'ébonite métallisées ou plombaginées, crayons solides formés de poudres métalliques agglomérées par la fusion d'une substance isolante, verres platinés, argentés, lames de verre recouvertes de feuilles métalliques très minces, charbon à lumière Carré, sélénium recuit, etc. Ce sont des substances formées de particules conductrices interrompues par un milieu isolant.

Parmi ces différents corps, ceux avec lesquels les variations de conductibilité se manifestent le plus aisément sont les poudres et limailles métalliques. Le passage de la poudre à travers des tamis de laiton permet d'employer des grains de grosseurs déterminées. Les limailles d'aluminium et d'antimoine qui ont servi dans un grand nombre d'essais avaient des grains compris entre $0^{mm},7$ et $0^{mm},8$. On peut s'adresser à des particules beaucoup plus fines, telles que celles des métaux réduits ou porphyrisés, ou beaucoup plus grosses, telles que des grains de plomb de 1^{mm} de diamètre.

On sait que les métaux en poudre offrent une grande résistance et arrêtent même souvent le courant électrique, on sait aussi que la pression diminue considérablement cette résistance.

Digitized by Google

Le fait nouveau est celui-ci : *Le passage d'un courant de haute tension, continu ou induit, peut accroître la conductibilité d'une limaille métallique dans une forte proportion;* parfois la résistance décroît de plusieurs millions d'ohms à quelques ohms.

Pour observer ce phénomène, tantôt on relie la colonne de limaille aux deux pôles d'une pile de 50, 100 ou 200 volts, pendant un temps qui varie de quelques secondes à une minute; tantôt on fait passer dans cette colonne des courants induits ou des décharges de condensateur; tantôt on fait simplement fonctionner dans le voisinage une machine de Holtz, ou mieux on place à proximité un conducteur parcouru par les courants oscillatoires d'une décharge de condensateur.

La description de quelques expériences permettra de préciser les conditions dans lesquelles il convient d'opérer pour obtenir les résultats les plus frappants.

On forme un circuit comprenant un élément de pile, un galvanomètre et une poudre métallique; cette poudre est versée dans un tube en ébonite d'un centimètre carré de section environ et de quelques centimètres de hauteur. Deux tiges cylindriques de cuivre, en contact avec la limaille métallique, forment les extrémités du tube et établissent la communication avec le reste du circuit. Si la limaille est suffisamment fine, le courant paraît complètement arrêté même avec un galvanomètre très sensible. C'est en millions d'ohms qu'il faudrait exprimer la résistance actuelle, alors que le même métal, aggloméré par fusion ou par une très forte pression, n'offrirait sous la même section qu'une résistance d'une fraction d'ohm. Le courant se trouvant ainsi complètement arrêté ou à peu près complètement arrêté, on fait éclater à une certaine distance du circuit la décharge d'une bouteille de Leyde. L'aiguille du galvanomètre du circuit de la poudre est alors brusquement écartée de sa position d'équilibre et reste déviée, car il ne s'agit pas d'une variation passagère.

Voici une autre façon de procéder. Prenons un long tube de laiton, voisin par une de ses extrémités du circuit qui renferme la poudre métallique. De l'autre extrémité de ce conducteur, distante de la poudre de plusieurs mètres, on approche une arma-

Digitized by Google

ture d'une bouteille de Leyde, une étincelle éclate. Les courants de haute tension qui ont parcouru brusquement le tube, au moment de sa charge, ont produit l'accroissement de conductibilité. Le même effet a lieu quand on vient à décharger le tube, que cette décharge soit faite à proximité ou loin du circuit. On sait que les courants oscillatoires très rapides, produits dans la décharge des condensateurs, donnent lieu, à distance, à des effets d'induction de très grande puissance. Des courants induits très actifs traversent alors la poudre métallique.

L'effet sera plus vif si les courants de décharge au lieu d'agir à distance parcourent le circuit lui-même. Il suffit de toucher un point quelconque du circuit avec l'une des armatures d'une bouteille de Leyde. L'action sera très forte s'il y a étincelle; quelquefois on agira avec une étincelle imperceptible, ou même avec la faible quantité d'électricité que garde encore la bouteille après une décharge prolongée et qui convient pour écarter modérément les feuilles d'un électroscope ordinaire. On agira de même en produisant l'électrisation par contact avec l'un des fils induits d'une bobine d'induction.

En opérant avec des courants continus, un courant de grande force électromotrice rend la substance sensible plus apte à transmettre un courant faible. Par exemple, formons un circuit comprenant une pile, la substance sensible et un galvanomètre. La force électromotrice de la pile est d'abord 1 volt, puis 100 volts, et enfin de nouveau 1 volt. Voici des déviations obtenues avec le courant de 1 volt pour trois substances différentes, avant et après le passage du courant de 100 volts.

	Avant le passage.	Après le passage.
Première substance	16	100
Deuxième substance.....	0	15
Troisième substance.....	1	500

Dans une autre expérience faite au pont de Wheatstone, une colonne prismatique de limaille d'aluminium intercalée entre des électrodes de cuivre, et offrant une résistance de plusieurs millions d'ohms, n'a plus présenté qu'une résistance de 350 ohms,

Digitized by Google

après le passage pendant une minute du courant de la pile de 100 volts [1].

Dans les expériences qui viennent d'être décrites, le diélectrique interposé était surtout un gaz, les résultats sont analogues avec d'autres diélectriques; citons spécialement des mélanges de baume de Canada et de limailles, de résine ou de soufre et d'aluminium, pâteux à chaud, très durs à froid.

Le rôle de la substance isolante peut être mis en évidence avec des dispositifs plus simples. Deux tiges cylindriques de cuivre rouge sont oxydées dans la flamme d'un bec Bunsen, puis elles sont superposées en croix, chargées de poids pour éviter les variations par trépidations et reliées respectivement aux bornes d'une branche d'un pont de Wheatstone. La résistance principale de cette branche réside dans les deux couches d'oxyde en contact. Dans une mesure, cet intervalle isolant accusait une résistance de 80000 ohms avant les étincelles d'une machine électrique qui fonctionnait à une distance de quelques mètres; cette résistance passait à 7 ohms après les étincelles.

Comme la pression, de son côté, produit un accroissement très notable de conductibilité, il est avantageux, pour agir sur certaines substances extrêmement résistantes, d'associer l'action de la pression et de l'influence électrique. En exerçant une pression de plus de 100^{kg} par centimètre carré sur un mélange de poudre d'aluminium et de fleur de soufre (1 aluminium, 4 de soufre) formant une couche cylindrique non conductrice de 2^{mm} d'épaisseur, on a rendu cette couche conductrice en reliant, pendant trente secondes, ses deux bases aux pôles d'une pile de 20 volts.

L'action électrique peut s'exercer sur la substance sensible en circuit ouvert ou en circuit fermé. Après que la limaille métallique a été placée dans le circuit d'un élément Daniell et que sa

---

[1] La pile que j'ai employée pour ces expériences est composée d'éléments de très grande résistance formés d'un fil de platine isolé plongeant dans une pâte de protosulfate de mercure et charbon de cornue en poudre et une tige de zinc entourée d'une solution de sulfate de zinc solidifiée par l'agar. Le charbon et l'agar sont séparés par du plâtre de modeleur gâché formant une cloison poreuse solide. Le tout est contenu dans un verre, d'une capacité de 90^{cc}, fermé par un bouchon paraffiné. Ces éléments sont fixés sur un gâteau de paraffine et réunis par groupes de 25.

Digitized by Google

grande résistance a été reconnue, on isole complètement du circuit le tube qui la renferme et on le soumet à une des influences électriques décrites plus haut. Si, après cela, on replace le tube à limaille dans son circuit fermé primitif, on voit que la conductibilité est produite.

Les actions électriques ne produisent pas de variations de conductibilité sur une substance enfermée dans une enceinte métallique entièrement close. La démonstration peut se faire à circuit ouvert ou à circuit fermé. Si elle se fait à circuit fermé, le circuit doit être contenu tout entier dans l'enceinte métallique. Annulées dans une enceinte métallique, les actions s'exercent à travers une enceinte de verre.

Qu'il s'agisse d'une limaille métallique noyée dans l'air ou dans un autre diélectrique, que la variation de conductibilité soit considérable ou très petite, l'effet est *persistant*. Cela montre que le milieu isolant interposé entre les particules conductrices est lui-même devenu conducteur et reste conducteur. Cette conductibilité, suscitée par le passage de courants continus de haute tension ou de courants induits, subsiste après l'action électrique, non seulement pour des courants de grande force électromotrice, mais aussi pour les courants thermo-électriques les plus faibles.

Des mouvements des particules métalliques ne peuvent être supposés dans un certain nombre de ces essais, où les particules d'une couche de quelques millimètres d'épaisseur étaient fixées dans une position relative invariable par des pressions extrêmement fortes. Dans ces conditions, le tassement que pourrait produire le courant lui-même serait inappréciable. D'ailleurs, les mélanges solides avec lesquels les mêmes variations de conductibilité se réalisent, semblent exclure tout déplacement.

Pour expliquer la persistance de la conductibilité après que l'action électrique a cessé, on pourrait supposer que les minces couches isolantes, intercalées entre les grains conducteurs sont perforées par le passage de très petites étincelles dont le trajet se tapisse de matière conductrice entraînée.

Si l'on admet cette explication, il conviendra de l'appliquer aux courants continus aussi bien qu'aux courants induits et on devra en conclure que ces actions mécaniques peuvent être produites par des piles n'ayant que 10 et 20 volts de force électromotrice et

Digitized by Google

ne donnant au début, dans la substance sensible, qu'un courant d'une intensité extrêmement faible.

L'examen des conditions du phénomène conduit plutôt à admettre une modification physique des couches minces isolantes qui les rend conductrices. Cette modification de l'isolant persiste quelque temps par une sorte de force coercitive.

Les faits qui suivent semblent appuyer cette manière de voir.

Avec une rapidité qui varie suivant l'intensité de l'effet produit et la nature de la substance, en un temps compris entre quelques secondes et quelques jours, le milieu isolant reprend graduellement ses propriétés et l'accroissement de conductibilité disparaît.

Certaines circonstances physiques peuvent hâter singulièrement le retour, particulièrement le choc. Quand il s'agit d'une poudre métallique, plus ou moins conductrice, placée dans un circuit traversé par un courant, le choc augmente en général la résistance jusqu'à une certaine limite. Ici, après l'influence électrique, le choc produit le retour à la résistance primitive; les trépidations de la rue, la marche dans une salle voisine, l'ébranlement d'un mur à distance, suffisent quand l'action a été faible; au contraire, si l'action a été forte, il faudra des chocs violents, des coups de marteau répétés sur la table qui sert de support, même avec les poudres métalliques. C'est avec les poudres métalliques que l'effet du choc se manifeste le mieux; toutefois, le retour par le choc se produit encore aisément avec la plupart des substances solides.

Une élévation de température rétablit aussi la résistance; une plaque d'ébonite, couverte de cuivre porphyrisé appliqué avec le brunissoir et placée après l'action électrique près d'un bec de gaz, reprend rapidement sa résistance. Même retour rapide quand on chauffe entre les doigts un crayon solide de poudre d'aluminium et de résine agglomérées par fusion.

Lorsque, par un choc, on a rétabli la résistance initiale et que le galvanomètre qui sert aux mesures est revenu au zéro, la conductibilité est souvent reproduite et aussi accentuée que la première fois par une action électrique beaucoup plus faible que celle du premier départ. Cet état sensible se prolonge quelque temps et peut être assimilé à un état résiduel analogue à ceux du magnétisme et de la polarisation.

Les variations de conductibilité par diminution de résistance ne

Digitized by Google

sont pas les seules que l'on observe; dans des conditions déterminées, bien précises, on obtient des augmentations de résistance. Ce fait n'est pas en désaccord avec la supposition d'une modification physique de l'isolant due au courant.

Voici des exemples : une lame d'un verre platiné d'une résistance de 700 ohms est devenue très conductrice par le passage pendant dix secondes du courant d'une pile de 150 éléments au protosulfate de mercure. La conductibilité a été presque complètement annulée par l'électrisation directe du verre platiné avec l'armature d'une bouteille de Leyde; enfin la conductibilité a reparu de nouveau par le passage pendant dix secondes du courant de 150 éléments. Une nouvelle électrisation avec la bouteille de Leyde a supprimé la conductibilité, et ainsi de suite.

Mêmes effets avec une couche mince d'un mélange intime de sélénium et de tellure appliqué par fusion dans une rainure présentée par une lame de mica interposée entre deux plaques de cuivre : conductibilité avec les 150 éléments, résistance par l'électrisation à l'aide du condensateur, nouvelle conductibilité avec les 150 éléments.

Le peroxyde de plomb, corps assez bon conducteur, ne m'a jamais présenté que des augmentations de résistance.

Ces diverses expériences ne m'ont pas jusqu'ici conduit à des applications importantes; toutefois on constate facilement que le fonctionnement des appareils à conducteurs interrompus (microtasimètre, microphones, etc.) est notablement modifié quand on fait agir sur eux les influences électriques qui changent la conductibilité de l'isolant interposé entre les particules conductrices.

Digitized by Google

SÉANCE DU 1er MAI 1891.

PRÉSIDENCE DE M. FRIEDEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 avril est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. CAURO (Joseph), ancien Élève de l'École Polytechnique, à Paris.

M. le PRÉSIDENT annonce l'envoi d'une Note de M. Delaurier ayant pour titre : *Des causes probables de la discordance de la radiation solaire trouvée à Montpellier et à Moscou.*

M. CAILLETET présente à la Société un appareil destiné à obtenir rapidement une température très basse par la détente de l'acide carbonique liquide. Cet appareil, qui porte le nom de *cryogène,* se compose de deux vases concentriques en cuivre nickelé, laissant entre eux un intervalle annulaire de quelques centimètres. Un serpentin, également en cuivre, est placé dans le vase intérieur. Il a environ 4^{m} de longueur et 15^{mm} de diamètre. Il porte, à son entrée, un robinet, et, à sa sortie, il aboutit dans l'espace annulaire compris entre les deux vases.

Quand on veut opérer, on remplit le vase intérieur d'alcool (3^{lit} environ) qui servira de bain réfrigérant pour les expériences à faire, puis on met le serpentin en communication avec une bouteille d'acide carbonique liquide. Le robinet de cette bouteille étant largement ouvert, le liquide arrive jusqu'au robinet du serpentin qu'on ouvre légèrement. La vaporisation et la détente de l'acide carbonique amènent sa congélation en neige. Les flocons, arrivant au contact des parois du serpentin, repassent rapidement à l'état gazeux en amenant une réfrigération énergique. Dans l'espace annulaire sont placés des fragments d'éponge imprégnés d'alcool. La neige, qui aurait pu traverser le serpentin sans se vaporiser, se dissout dans cet alcool et la réfrigération qui en résulte complète l'abaissement de la température.

Le robinet du serpentin peut quelquefois s'obstruer par la solidification de la neige tassée. Pour le dégager on a adapté, à l'orifice de la bouteille d'acide carbonique, un petit réservoir contenant de l'alcool qu'on peut laisser écouler, à un moment donné, dans le circuit du gaz. Cet alcool dissout immédiatement la neige accumulée.

Tout l'appareil est placé dans une boîte capitonnée et munie d'un couvercle également garni de laine pour le protéger contre le rayonnement. Plusieurs orifices, ménagés dans ce couvercle, laissent passer l'agitateur, les thermomètres, etc.

Ce cryogène peut donner en peu de temps un froid de — 70° environ.

Digitized by Google

Quand la circulation du gaz acide carbonique est arrêtée, l'appareil entouré de ses enveloppes protectrices ne se réchauffe qu'avec une très grande lenteur. Dans une expérience, on a observé qu'au bout de neuf heures la température de l'alcool n'était remontée que de — 70° à — 22°. On comprend alors qu'en injectant de temps en temps une très petite quantité d'acide carbonique liquide, on arrive à maintenir indéfiniment une température sensiblement constante et très basse.

Dans plusieurs expériences, on a trouvé que, pour amener l'appareil avec ses trois litres d'alcool à — 70°, il suffit de dépenser 2^{kg} à $2^{kg},5$ environ d'acide carbonique liquide.

M. Pellat expose les recherches qu'il a faites pour déterminer le rapport entre l'unité électromagnétique et l'unité électrostatique d'électricité (v de Maxwell). En 1887, à l'époque où ces recherches ont commencé, il n'existait que des déterminations assez peu précises de cette grandeur: c'est ce qui a engagé l'auteur à faire ce travail.

Le rapport qui existe entre l'unité électromagnétique et l'unité électrostatique d'électricité est le même, comme il est facile de le voir, que le rapport du nombre qui exprime en unités électromagnétiques une différence de potentiel à celui qui exprime cette même différence en unités électrostatiques. C'est ce dernier rapport que M. Pellat a mesuré.

En vertu de la relation d'Ohm ($e = ir$), la mesure absolue en unités électromagnétiques a été ramenée à la mesure absolue d'une résistance (r) et à celle d'un courant (i); cette dernière mesure a été obtenue au moyen de l'électrodynamomètre absolu de M. Pellat. Pour la mesure de résistance, on a admis que l'ohm vrai était les $\frac{106,3}{106}$ de l'ohm légal. Enfin la mesure en unités électrostatiques a été faite avec l'électromètre absolu de Sir W. Thomson. Voici la description de la méthode employée.

Le courant fourni par une pile (A) de plusieurs centaines de petits éléments passe dans une grande résistance (R) composée de n résistances égales ($R' = 100000^{\omega}$). La différence de potentiel aux extrémités d'une de ces résistances R' était opposée à la force électromotrice d'une pile (B) de treize éléments Latimer Clark. La compensation, observée au moyen d'un électromètre capillaire, était produite et maintenue exactement en ajoutant ou retranchant, à l'aide d'un commutateur convenable, soit quelques éléments, soit une fraction d'élément à la pile A. Cette opération, dont un aide était chargé, assurait la constance du courant de la pile A pendant les mesures; la différence de potentiel aux extrémités de la résistance R, qui était mesurée à l'électromètre Thomson, valait ainsi exactement n fois la force électromotrice (E) de la pile B. Pour obtenir E, on comparait par opposition chacun des treize éléments de B avec un latimer-clark étalon (T) pourvu d'un thermomètre, en complétant la légère différence par une dérivation prise sur un courant et en se servant d'un électromètre capillaire très sensible. Enfin la force électromotrice de l'élément T, donnée d'après sa température dans chaque expérience, était déterminée en valeur absolue de temps en temps (tous les

Digitized by Google

trois mois environ) de la manière suivante. L'élément T était opposé à la différence de potentiel produite aux extrémités d'une résistance (r) par le passage d'un courant (i), mesuré au moyen de l'électrodynamomètre absolu : la compensation observée au moyen d'un électromètre capillaire très sensible était obtenue et maintenue au moyen d'un rhéostat placé dans le circuit du courant (i); cette opération, dont un aide était chargé, assurait l'invariabilité du courant (i) pendant la mesure à l'électrodynamomètre. La résistance (r), en fil nu, était placée dans un bain de pétrole dont la température, rendue uniforme par l'agitation, était mesurée; cette résistance a été, à plusieurs reprises, comparée aux étalons mercuriels de M. Benoît. La relation $e = ir$ fournissait la force électromotrice (e) de l'élément T.

La mesure à l'électromètre absolu se faisait en alternant, à l'aide d'un commutateur soigneusement isolé, les communications entre les extrémités de la résistance R et soit le plateau attractif soit l'armature extérieure de la bouteille de Leyde de l'électromètre. De cette façon, le déplacement du plateau attractif mesurait le double de la force électromotrice (nE) existant aux extrémités de la résistance R. En croisant ainsi les expériences à des intervalles égaux (30 secondes), on éliminait l'erreur due à la déperdition, très faible du reste, de la bouteille de Leyde. Chaque détermination comprenait de dix à vingt expériences croisées.

Après une étude de la disposition expérimentale, qui a duré plus de trois ans, deux séries définitives d'expériences ont été effectuées. La première (mai-juin 1890), comprenant vingt déterminations, a été faite en employant une résistance R d'un mégohm, aux extrémités de laquelle se trouvait une différence de potentiels de 189 volts; elle a donné comme résultat $v = 3,0093 \times 10^{10}$. La seconde (octobre-décembre), comprenant trente-trois déterminations, a été faite en employant comme résistance R deux mégohms, aux extrémités de laquelle se trouvait une différence de potentiel double de la précédente (378 volts); elle a donné sensiblement le même résultat ($v = 3,0091 \times 10^{10}$).

Ce nombre $3,009 \times 10^{10}$ ne diffère que de $\frac{1}{600}$ du nombre trouvé par M. Cornu pour la vitesse de la lumière ($3,004 \times 10^{10}$); or l'électromètre Thomson, tel qu'il est construit, ne permet pas une précision absolue supérieure à $\frac{1}{500}$ (les autres causes d'erreurs sont à peu près négligeables vis-à-vis des erreurs de la mesure électrométrique). Il est, du reste, sensiblement d'accord avec les nombres $3,009 \times 10^{10}$ (Himstedt, 1888), $3,004 \times 10^{10}$ (W. Thomson, 1889), $3,000 \times 10^{10}$ (Rosa, 1889). Le v de Maxwell ne diffère donc pas de la vitesse de la lumière.

Ces expériences ont été faites à l'Ecole Polytechnique, dans le laboratoire de M. Potier. M. Pellat remercie bien vivement M. Potier pour l'intérêt qu'il n'a cessé de porter à son travail et pour son aimable hospitalité. Il adresse aussi ses plus vifs remerciements à M. Culmann, à M. Lalande et à M. Babinski pour le concours que ces collaborateurs ont bien voulu lui prêter.

Digitized by Google

M. Berget présente un appareil imaginé et construit par M. I.-C. Rohn, de Varsovie, pour tracer graphiquement les courbes de Lissajous, figuratives de la composition de deux mouvements vibratoires.

L'appareil se compose de quatre cercles dentés, égaux deux à deux et engrenant avec un cinquième qui commande leur mouvement : les cercles égaux sont placés sur deux diamètres perpendiculaires du cinquième cercle.

Les cercles 1 et 2 portent deux manivelles, dont une bielle assure le parallélisme; de même pour les cercles 3 et 4, le lieu du point d'intersection des deux bielles est évidemment la figure de Lissajous dont le rapport harmonique serait le rapport du rayon des cercles 1 et 2 à celui des cercles 3 et 4; il suffit d'y placer un style pour avoir le tracé de la courbe.

Les cas particuliers des courbes de Lissajous comprennent le cercle, l'ellipse, la ligne droite et la parabole : l'appareil de M. Rohn réalise ces tracés avec une perfection qui est un criterium de la précision avec laquelle il est construit. Il a été gracieusement offert par l'auteur au Laboratoire de recherches, dirigé par M. Lippmann à la Sorbonne.

Détermination du rapport entre l'unité électromagnétique et l'unité électrostatique d'électricité;

Par M. H. Pellat.

En 1887, à l'époque où j'ai commencé mes recherches sur la détermination du rapport entre l'unité électromagnétique et l'unité électrostatique d'électricité, il n'existait, à ce sujet, que les résultats suivants :

Dates.	Expérimentateurs.	Valeurs trouvées.	
1856	Weber et Kohlrausch	$310,7 \times 10^8$	(1)
1868	Maxwell	284,2	(2)
1869	Thomson et King	280,8	(3)
1873	Kichan	289,6	(4)
1879	Ayrton et Perry	296,0	(5)

(1) Weber et Kohlrausch, *Pogg. Ann.;* 1856.
(2) Maxwell, *Phil. Trans.*, p. 643; 1868.
(3) King, *Report of the Committee on Electrical Standards;* 1869.
(4) Dugald M. Kichan, *Phil. Trans.;* 1876.
(5) Ayrton and Perry, *Journ. Soc. Tel. Engineers*, p. 126; 1879.

Digitized by Google

Dates.	Expérimentateurs.	Valeurs trouvées.	
1880	Shida	$295,5 \times 10^8$	(1)
1883	J.-J. Thomson	296,3	(2)
1884	Klemencic	301,9	(3)

Ces nombres ne présentent pas entre eux une concordance satisfaisante pour une grandeur de première importance, puisqu'elle entre comme facteur dans presque toutes les formules de l'électrostatique, quand on veut exprimer les résultats dans le système électromagnétique, adopté aujourd'hui. En outre, on sait quel intérêt s'attache à la comparaison de ce rapport avec la vitesse des radiations lumineuses pour la justification de la théorie électromagnétique de la lumière de Maxwell.

C'est ce qui m'a engagé à employer l'électrodynamomètre absolu que je venais de réaliser, pour déterminer cette grandeur, par une méthode des plus simples, qui me paraissait susceptible de précision. Mais, pendant le cours de mes mesures, qui ont duré plus de trois années, plusieurs savants ont publié le résultat de mesures présentant entre elles une grande concordance, sauf la dernière.

Dates.	Expérimentateurs.	Valeurs trouvées.	
1887	Himstedt	$300,8 \times 10^8$	(4)
1889	W. Thomson.....	300,4	
1889	E.-B. Rosa.....	300,0	(5)
1889	Rowland.....	298,2	(6)

Le nombre que j'ai trouvé ($300,9 \times 10^8$) s'accorde aussi avec les trois premiers des nombres précédents.

Méthode. — La méthode que j'ai employée consiste à mesurer une même différence de potentiel : 1° en unités électromagnétiques, en la comparant à la différence de potentiel qu'un courant,

(1) SHIDA, *Phil. Mag.*, [5], X, p. 431; 1880.
(2) J.-J. THOMSON, *Phil. Trans.*, p. 707; 1883.
(3) KLEMENCIC, *Wiener Berichte* [3], LXXXIII, p. 88.
(4) HIMSTEDT, *Wied. Ann.*, Bd. XXXIII, S. 1; 1888.
(5) *Phil. Mag.*, [5], XXVIII, p. 315.
(6) H.-A. ROWLAND, *Phil. Mag.*, [5], XXVIII, p. 304.

Digitized by Google

connu en valeur absolue au moyen de mon électrodynamomètre, détermine entre les extrémités d'une résistance connue aussi en valeur absolue; 2° en unités électrostatiques, au moyen de l'électromètre absolu de Sir W. Thomson.

Pour faire une détermination précise avec ce dernier instrument, il faut que la mesure porte sur plusieurs centaines de volts, tandis qu'il n'est, au contraire, commode de mesurer directement en valeur électromagnétique que des différences de potentiel de l'ordre du volt. Il était donc nécessaire de déterminer le rapport de deux différences de potentiel de valeurs très différentes. Après avoir essayé plusieurs méthodes, je me suis arrêté à la suivante, qui m'a donné pleine satisfaction.

Le courant fourni par une pile P formée de plusieurs centaines de petits éléments disposés en tension passait dans une grande résistance R, formée d'un certain nombre n de résistances égales entre elles R′ (valant 100 000 ohms); c'était la différence de potentiel E que le courant établissait aux deux extrémités de la résistance R qui était mesurée à l'électromètre absolu. Or, cette différence de potentiel E était égale à n fois la différence de potentiel E′ existant aux extrémités d'une des résistances R′ ($E = nE'$). Pour avoir en unités électromagnétiques la quantité E′, on opposait cette différence de potentiel à la force électromotrice d'une pile p de treize éléments Latimer-Clark diminuée d'une fraction de volt prise par dérivation sur un courant, et dont nous verrons plus loin la nécessité. La compensation était observée au moyen d'un électromètre capillaire rendu à dessein peu sensible; elle était obtenue et maintenue, malgré les variations continuelles du courant fourni par la pile P, en ajoutant à celle-ci ou en en retranchant quelques éléments ou fractions d'élément, au moyen d'un commutateur convenable. Un aide était chargé de cette opération, qui assurait la constance de la différence de potentiel E mesurée à l'électromètre absolu.

Les éléments Latimer-Clark de la pile p, maintenus à température constante par leur immersion dans un liquide (eau ou pétrole) et soigneusement isolés, étaient comparés à l'un d'entre eux T, pris comme étalon, par opposition et en compensant la légère différence de force électromotrice par une différence de potentiel prise sur un circuit traversé par un courant. Cette com-

Digitized by Google

pensation était appréciée au moyen d'un électromètre capillaire très sensible, suivant la méthode habituelle. On obtenait ainsi la force électromotrice de la pile p en fonction de celle de l'élément T. Celle-ci était connue, dans chaque expérience, d'après la température de l'élément, donnée par un thermomètre dont le réservoir plongeait dans la dissolution de sulfate de zinc de l'élément (1).

La force électromotrice de l'élément T était mesurée de temps en temps en valeur absolue par la méthode suivante.

Un courant aussi constant que possible traversait l'électrodynamomètre absolu, une résistance r et un rhéostat. La différence de potentiel produite par ce courant aux extrémités de r était opposée à la force électromotrice de l'élément T; la compensation était observée au moyen d'un électromètre capillaire très sensible. Un aide, en agissant sur le rhéostat, réglait l'intensité du courant, de façon que la compensation fût parfaite, et maintenait celle-ci, malgré les variations de la pile fournissant le courant (2). Comme l'élément pouvait être considéré comme ayant une force électromotrice invariable pendant la durée d'une détermination, ce procédé assurait la constance du courant à moins de $\frac{1}{5000}$ de sa valeur. On pouvait alors faire à loisir les pesées nécessaires à la mesure de l'intensité i du courant par l'électrodynamomètre.

La résistance r était formée d'un fil nu en métal xxx (3), enroulé sur deux planchettes d'ébonite disposées en croix; elle était immergée dans un bain de pétrole dont un thermomètre donnait a température, rendue uniforme par un agitateur à air. Cette

---

(1) Les éléments Latimer-Clark de la pile p sont formés par du mercure placé au fond d'un tube, recouvert par une pincée de sulfate mercureux; au-dessus se trouve une dissolution à 15 pour 100 de sulfate de zinc, dans laquelle baigne un bâton de zinc pur, amalgamé, enveloppé de papier parchemin. Une couche de valvoline empêche complètement l'évaporation du liquide aqueux. Quand les éléments doivent être transportés, la valvoline est placée entre deux couches de paraffine qui forme un bouchon solide. Ces éléments, à sulfate de zinc liquide sont bien préférables aux Latimer-Clark à pâte solide; le coefficient de variation avec la température est beaucoup plus faible, et celle-ci peut être déterminée exactement.

(2) Ce sont les accumulateurs qui m'ont donné les courants les plus réguliers et les plus faciles à régler, par conséquent.

(3) Le métal xxx, qui se trouve depuis quelques années dans le commerce, a

Digitized by Google

résistance a été, à plusieurs reprises, comparée aux étalons mercuriels de M. Benoît. En ohm légal, sa valeur ρ était donnée par la formule

$$\rho = 5^{\omega},0315 + 0^{\omega},001\,11\,t.$$

J'ai admis que la valeur de l'ohm était la fraction $\frac{106,3}{106}$ de l'ohm légal pour avoir r en ohm $\left(r = \frac{106}{106,3}\rho\right)$.

Le produit ir représentait la force électromotrice de l'élément T en volt (¹).

---

la composition suivante :

Cuivre	56,5
Nickel	35,5
Zinc	8,0
	100,0

Il est préférable au maillechort ordinaire pour la construction des résistances, parce que son coefficient de variation de résistance avec la température (0,000 22) est moitié moindre et que sa résistance spécifique est le double environ.

(¹) Nous reproduisons la série des résultats obtenus dans les déterminations de la force électromotrice du Latimer-Clark T en valeur absolue. Ces résultats sont ici exprimés en *volt légal;* c'est-à-dire qu'ils ont été obtenus en multipliant l'intensité i du courant en ampères par la résistance ρ exprimée en ohm légal. Les nombres de la quatrième colonne ont été calculées par la relation

$$E = E_0(1 - 0,000\,295\,t).$$

Dates.	Température de l'élément t.	Force électromotrice de l'élément à $t°$.	Force électromotrice de l'élément à 10°.
20 février 1888	9°,5	1,469 0	1,468 8
10 mars 1888	13,8	1,466 4	1,468 1
19 juin 1888	16,8	1,464 9	1,468 0
11 juillet 1888	17,4	1,464 2	1,467 6
13 janvier 1889	11,4	1,466 7	1,467 6
8 juin 1889	21,3	1,460 3	1,465 7
15 juin 1889, matin	20,0	1,460 9	1,465 7
15 juin 1889, soir	20,1	1,461 0	1,465 8
15 février 1890	14,4	1,463 4	1,466 0
12 mars 1890	16,0	1,462 8	1,466 0
14 mars 1890	17,0	1,462 2	1,466 1
15 mars 1890	18,0	1,461 3	1,465 6
28 avril 1890	14,9	1,463 3	1,466 2
21 juillet 1890	19,0	1,460 9	1,465 7
3 décembre 1890	6,8	1,466 8	1,466 4

On voit, par la quatrième colonne, que la variation de l'élément (construit le

Digitized by Google

C'est ainsi qu'on obtenait en unités électromagnétiques la valeur de la différence de potentiel E existant entre les deux extrémités A et B de la résistance R. Pour l'obtenir en unités électrostatiques, on se servait, comme je l'ai déjà dit, de l'électromètre absolu de Sir W. Thomson.

La bouteille de Leyde de cet instrument étant convenablement chargée, l'une des extrémités A de la résistance R était mise en communication avec le plateau inférieur C de l'électromètre et l'autre extrémité B avec l'armature extérieure D de la bouteille de Leyde, dont l'armature intérieure est reliée, comme on le sait, à l'anneau de garde et au plateau mobile. En tournant la vis micrométrique V qui monte ou descend le plateau inférieur C, on amenait le plateau mobile dans le plan de l'anneau de garde; on en était averti quand le cheveu porté par ce plateau donnait son image entre les pointes des vis qui servent de réticule au microscope qui vise ce cheveu. Après avoir fait la lecture a de la position du plateau inférieur sur le tambour que porte la vis micrométrique V, on intervertissait, à l'aide d'un commutateur soigneusement isolé ([1]), les communications entre A et B, C et D, et l'on notait la nouvelle position b du plateau inférieur qui amenait le plateau mobile dans le plan de l'anneau de garde. Si la bouteille de Leyde avait conservé rigoureusement la même charge entre ces deux opérations, on aurait obtenu la différence de potentiel v entre A et B par la formule connue

$$2v = \frac{a-b}{r}\sqrt{8pg}, \tag{1}$$

dans laquelle r représente le rayon du plateau mobile, p la masse

---

11 février 1888) est très faible, qu'il a éprouvé pourtant une légère diminution pendant la première année. On peut juger, par la concordance des observations faites à des époques très rapprochées (juin 1889 ou mars 1890) de la précision de la méthode de mesure.

([1]) Ce commutateur doit avoir une résistance d'isolement assez grande pour pouvoir être considérée comme infinie vis-à-vis de la résistance R qui était d'un ou deux mégohms. J'ai employé successivement deux commutateurs : l'un était formé par des colonnes d'ébonite, l'autre avait pour isolant la paraffine, dont l'isolement peut être considéré comme absolu; les résultats ont été les mêmes avec l'un et l'autre instrument.

Digitized by Google

dont le poids pg est égal à la force des ressorts qui tendent à soulever le plateau mobile quand il est dans le plan de l'anneau de garde. Mais, comme on ne peut pas compter sur la constance de la charge de la bouteille de Leyde, on croisait les expériences en déterminant à des époques également espacées [35 secondes (¹)], d'abord une première valeur a_1 de a, puis, après avoir fait jouer le commutateur, une première valeur b_1 de b; en ramenant le commutateur à la première position, on déterminait une seconde valeur a_2 de a, et ainsi de suite. Les nombres a_1, a_2, a_3, ... et les nombres b_1, b_2, b_3, ... formaient deux séries qui, aux erreurs de lecture près, constituaient une progression linéaire, indiquant que la perte de charge de la bouteille (toujours très faible pendant une série de pointés) était proportionnelle au temps. On prenait alors pour $a - b$ les différences $\frac{a_1 + a_2}{2} - b_1$, $a_2 - \frac{b_1 + b_2}{2}$, $\frac{a_2 + a_3}{2} - b_2$, ... Ces différences ne présentaient plus d'écart systématique avec leur moyenne, qui était introduite à la place de $(a - b)$ dans la formule ci-dessus. Chaque expérience comprenait, le plus souvent, douze pointés, de façon que la moyenne correspondait à dix nombres.

Réglage de l'électromètre absolu; tare. — Avant de procéder aux mesures précédemment décrites, il avait fallu régler l'électromètre absolu et trouver la valeur de la tare p. Voici le procédé qui était employé pour cela.

Le plateau mobile était rendu bien horizontal, de façon que sa base fût exactement parallèle au plan de l'anneau de garde, au moyen de petits contrepoids en clinquant placés convenablement sur sa face supérieure. C'était une opération extrêmement longue et délicate qui n'était répétée que de temps en temps.

Quand la base inférieure du plateau mobile avait été amenée exactement dans le plan de l'anneau de garde, ce dont on pouvait

---

(¹) Une sonnerie électrique commandée par un métronome donnait un signal toutes les 35 secondes. L'aide chargé de régler l'intensité du courant circulant dans la résistance R devait, à ce moment, voir la colonne de mercure de l'électromètre capillaire dans le voisinage de zéro, avec une tolérance déterminée, sans quoi la mesure était rejetée.

Digitized by Google

juger à l'œil, armé d'une faible loupe (avec une précision supérieure à $\frac{1}{50}$ de millimètre, comme je m'en suis assuré), il fallait que l'image du cheveu fût sur le réticule; on y arrivait en déplaçant les petites vis qui constituent ce réticule.

Pour la tare p, on se servait de trois petits poids cylindriques en fer nickelé égaux en masse, et dont la somme était dans les expériences définitives de $0^{gr},4095$ (1). Ces poids étaient disposés symétriquement, en les inscrivant dans trois des six angles formés par les nervures que porte, dans le sens des rayons, le plateau à sa partie supérieure. On tendait alors convenablement les ressorts à l'aide d'une vis micrométrique, qui peut soulever leur partie supérieure, jusqu'à amener l'image du cheveu sur le réticule, et l'on s'assurait que le plateau était parfaitement dans le plan de l'anneau de garde.

Les poids étaient alors ôtés et le plateau recouvert de la cage qui lui sert d'écran électrique (2).

Pour poser les poids sur ce plateau, suspendu par des ressorts si délicats et pour les ôter, j'ai fait usage d'un petit électro-aimant (3); c'est pour cette raison que les poids étaient en fer.

Étude de la vis micrométrique. — La vis micrométrique V a été étudiée une première fois, en enlevant la partie supérieure de l'appareil et en faisant soulever à la vis une graduation horizontale regardée avec un microscope. Cette étude a montré que la vis était loin d'être suffisamment régulière. Elle possédait des erreurs périodiques et progressives, qui ont pu être constatées, mais qui ne pouvaient pas être mesurées avec une précision suffisante.

---

(1) Dans les essais de la méthode, les tares ont été faites avec des poids plus forts et plus faibles; aucune modification systématique n'étant apportée par la valeur de la tare, j'ai pris alors la tare qui m'a paru la plus favorable pour la précision.

(2) Cette cage présente des ouvertures inutiles qui ont été bouchées par des lames de clinquant; les ouvertures utiles pour le passage de la lumière ont été recouvertes d'une toile métallique. Ces précautions ne sont peut-être pas indispensables.

(3) Je me suis assuré qu'aucune cause d'erreur n'était dûe à une aimantation possible des ressorts d'acier par l'introduction momentanée dans leur voisinage de ce petit électro-aimant, en faisant aussi la tare avec des poids de laiton, posés et enlevés avec un crochet.

Digitized by Google

Pour éviter toute cause d'erreur provenant du défaut de la vis, les expériences ont été conduites de façon à employer juste un tour complet ou deux tours complets de la vis, à partir du zéro du tambour, quand on passait de la position a à la position b, et cela à moins d'un centième de tour de vis près; c'étaient les millièmes de tours de vis qui étaient appréciés aussi exactement que possible lors de chaque pointé. Il a suffi, pour cela, la tare étant déterminée, d'avoir à mesurer une différence de potentiel E de grandeur convenable. Il en résultait pour $E'\left(=\frac{E}{n}\right)$ une valeur un peu plus faible que la force électromotrice de la pile p de 13 latimer-clarke, employée pour la compenser; c'est pour cela qu'il était retranché de la différence de potentiel, présentée par les pôles de la pile p, une fraction de volt, comme nous l'avons indiquée plus haut.

Il suffisait dès lors de mesurer très exactement le tour de vis ou le double tour de vis employé. Dans ce but, l'instrument a été transformé en un sphéromètre, en enlevant l'anneau de garde, le disque mobile et toute la partie supérieure, et en remplaçant celle-ci par une pointe H à contact électrique. La lame, dont on voulait mesurer l'épaisseur, était placée sur un petit trépied posé sur le plateau inférieur conservé; on soulevait le plateau et, par conséquent, la plaque, en se servant de la vis micrométrique V; dès que cette plaque touchait la pointe H, un courant était fermé et faisait dévier brusquement l'aiguille d'un galvanomètre, ce qui indiquait le contact avec beaucoup de précision.

Le pas de vis de ce sphéromètre a été mesuré alors par le procédé indiqué par M. Macé de Lépinay (1). Je me suis servi comme étalon de deux lames de quartz, que m'a obligeamment prêtées M. Macé de Lépinay, dont la différence d'épaisseur était presque exactement le double tour de vis à étudier. L'épaisseur de ces lames avait été déterminée avec le plus grand soin par cet habile expérimentateur (2), en fonction de l'arête du cube représentant le millilitre, qui ne diffère pas d'une quantité assez

(1) *Journal de Physique*, 2e série, t. VII, p. 53; 1888.
(2) *Ibid.*, 2e série, t. V, p. 405 et 411; 1886.

Digitized by Google

grande du centimètre pour introduire une erreur appréciable dans mes mesures.

Quant à la mesure du diamètre du plateau mobile et à celle de l'ouverture de l'anneau de garde, nécessaire pour connaître l'épaisseur du sillon qui sépare le plateau mobile de cet anneau, elles ne présentent aucune difficulté. Elles ont été effectuées au moyen d'une règle graduée en laiton à biseau, posée sur le diamètre à mesurer, et regardée au moyen de microscopes pourvus d'un micromètre oculaire. La règle a été comparée aux étalons du Bureau international des Poids et Mesures.

Influence du sillon. — La distance du plateau mobile à l'anneau de garde n'étant pas infiniment petite comme le suppose la théorie élémentaire, il a fallu se préoccuper de corriger la cause d'erreur qui peut résulter de l'épaisseur appréciable du sillon qui les sépare. Un calcul, fondé sur les « figures conformes (*Abbildung*) », analogue à celui fait par Kirchoff pour obtenir la capacité du condensateur à anneau de garde, m'a conduit à la formule de correction. De son côté, M. Potier a eu l'obligeance de refaire ces calculs et est arrivé à une formule beaucoup plus élégante, et qui donnait les mêmes résultats numériques que celle que j'avais trouvée (1). La correction revient à ajouter au plateau mobile une bande fictive, dont la largeur dépend de celle du sillon et aussi de la distance des deux plateaux, et à supposer que le plateau mobile est couvert uniformément d'une couche électrique ayant la densité indiquée par la théorie élémentaire (2).

Résultats. — Après avoir fait une étude soignée de la méthode par de nombreuses mesures d'essai, deux séries définitives de me-

---

(1) La formule de correction a été publiée dans une Note de M. Potier sur l'*Électromètre absolu,* placée à la fin de la traduction, par M. Seligmann-Lui, du *Traité d'Électricité et de Magnétisme,* de Maxwell.

(2) Comme le terme correctif dépend de la distance des deux plateaux parallèles qui n'est pas la même pour la position a et pour la position b du plateau inférieur, le calcul de $2v$ a dû être fait par une formule un peu plus compliquée que la formule (1) indiquée plus haut. En employant cette formule et en donnant à r la valeur corrigée pour la position moyenne $\frac{a+b}{2}$, l'erreur commise n'aurait été, du reste, que de $\frac{1}{600}$.

Digitized by Google

sures ont été effectuées : l'une au mois de juin 1890, dans laquelle on a employé pour résistance R un mégohm et pour valeur de E 189 volts environ, de façon à avoir à déplacer d'un tour complet le plateau inférieur. Cette série a compris vingt expériences faites en employant les diverses résistances R′, dont se composait R, pour obtenir E′, afin de se mettre à l'abri des inégalités qui auraient pu exister entre ces résistances R′; par le fait elles étaient parfaitement égales. La moyenne a été

$$v = 300,93 \times 10^8.$$

Une seconde série d'expériences a été faite en octobre, novembre et décembre 1890, en prenant pour R deux mégohms, pour E 378 volts, ce qui correspondait à deux tours de vis complets. Elle a compris trente-trois expériences faites, comme les précédentes, en variant la résistance R′ qui fournissait E′. La moyenne a été

$$v = 300,91 \times 10^8,$$

nombre remarquablement concordant avec la moyenne de la première série [1], ce qui montre combien les erreurs accidentelles s'éliminent par un grand nombre d'observations; mais ce qui ne prouve malheureusement rien pour la justesse du résultat à cause des erreurs systématiques.

A ce point de vue, on peut dire que les erreurs de la partie électromagnétique doivent être à peu près négligeables vis-à-vis des erreurs de la partie électrostatique; quant à ces dernières, je crois que c'est la mesure du pas de la vis qui doit introduire la plus grosse erreur, malgré le procédé relativement si parfait de M. Macé de Lépinay pour le déterminer.

La différence entre la valeur que j'ai trouvée pour v et la vitesse

---

[1] Ces cinquante-trois mesures confirment d'une façon très nette la loi des erreurs données par M. Cornu

$$\left(\frac{\text{erreur du moyen carré}}{\text{erreur moyenne}}\right)^2 = \frac{\pi}{2};$$

on trouve, en effet,

$$\left(\frac{\text{erreur du moyen carré}}{\text{erreur moyenne}}\right)^2 = \frac{\pi}{2,014}.$$

L'erreur probable, calculée par les méthodes connues, est $0,37 \times 10^8$.

Digitized by Google

de la lumière trouvée par M. Cornu ($300,3 \times 10^8$ dans l'air) n'est que $\frac{1}{500}$, ce qui me paraît rentrer dans l'erreur possible des déterminations.

Ces expériences ont été faites à l'École Polytechnique, dans le laboratoire de M. Potier; je suis heureux de lui témoigner ici toute ma gratitude pour son aimable hospitalité et pour l'intérêt qu'il n'a cessé de prendre à mon travail. J'adresse aussi mes plus vifs remerciements à M. P. Culmann, M. A. Lalande et M. H. Babinski qui ont bien voulu m'aider dans ces expériences.

Sur l'appareil de M. I.-C. Rohn, servant au tracé des courbes de Lissajous;

Par M. A. Berget.

Plusieurs dispositifs ont été imaginés pour réaliser un tracé graphique des courbes de Lissajous, caractéristiques de la composition de deux mouvements vibratoires rectangulaires.

Le plus simple est le double pendule, imaginé en Angleterre : à la masse d'un pendule oscillant, dans un certain plan, est fixé le point de suspension d'un second pendule oscillant dans un plan perpendiculaire au premier : un point de la masse de ce second pendule décrit une courbe de Lissajous, dont le rapport harmonique est celui des racines carrées des longueurs des deux pendules.

Lissajous lui-même avait imaginé un appareil mécanique pour réaliser le tracé en question; cet appareil, fort compliqué, est actuellement au Conservatoire des Arts et Métiers.

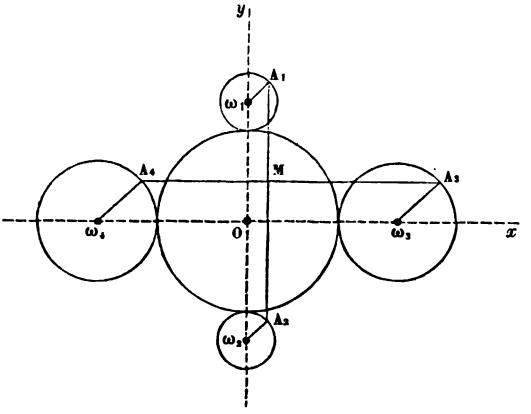
L'appareil de M. Rohn est basé sur un principe tout différent. Considérons une grande circonférence O et deux diamètres perpendiculaires Ox, Oy (*fig.* 1). Considérons quatre circonférences ω_1, ω_2, ω_3, ω_4, égales deux à deux, tangentes à la première, et imaginons que la circonférence O, quand elle est en mouvement, fasse tourner autour de leurs centres respectifs les quatre petites circonférences : on pourra réaliser cette disposition en munissant les cinq circonférences de dents d'engrenage.

Digitized by Google

Prenons dans ω_1 et ω_2 deux rayons parallèles $\omega_1 A_1$ et $\omega_2 A_2$, la ligne $A_1 A_2$ est la projetante du point A_1 sur l'axe Ox.

Or, on sait que la projection sur un axe, d'un mobile A, se mouvant uniformément sur un cercle, peut représenter le mouvement vibratoire au simple point de vue de la phase, de la période et de l'élongation.

Fig. 1.



Si donc, on considère en même temps la droite $A_3 A_4$ qui joint les extrémités de deux rayons parallèles dans les circonférences opposées ω_4 et ω_3, le lieu du point M, intersection de ces deux droites sera précisément la courbe de Lissajous définie par le rapport harmonique égal au rapport des rayons des circonférences ω_1 et ω_3.

La réalisation de l'appareil est fort simple.

La circonférence O, dentée extérieurement, roule sur des galets et peut être mise en mouvement à l'aide d'un pignon commandé par une petite manivelle. Des glissières sont disposées suivant Ox et Oy, et permettent de recevoir les axes des roues dentées ω_1, ω_2, ω_3, ω_4. Quand ces roues ont engrené avec le cercle O, on fixe leurs axes dans la glissière à l'aide de vis de pression.

Concentriquement à chaque roue se trouve un cercle divisé fixe qui permet, par l'angle que font au départ les rayons $\omega_1 A_1$ et $\omega_3 A_3$, de régler la *différence de phase* des deux mouvements.

Quant à la différence d'élongation, elle s'obtient en rapprochant ou en éloignant plus ou moins, sur les bielles qui repré-

Digitized by Google

sentent les rayons $\omega_1 A_1$ et $\omega_2 A_2$, d'un même système, par exemple, le point A_1 du centre correspondant.

Une collection de roues, toutes en double, permet d'avoir un grand nombre de combinaisons harmoniques, et en particulier tous les rapports simples correspondant aux intervalles musicaux.

Comme cas particuliers, l'instrument trace le cercle, l'ellipse, la parabole et la ligne droite avec une perfection qui est un criterium de la précision avec laquelle il est construit. Il a été offert par son auteur au laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne.

SÉANCE DU 15 MAI 1891.

PRÉSIDENCE DE M. FRIEDEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er mai est adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Chartrand (Dr), Professeur à l'Université Victoria, à Montréal (Canada).
Latour, Professeur au Lycée d'Angers.
Romilly (Paul de), Ingénieur en chef des Mines à Paris.

M. le Président annonce à la Société la perte qu'elle a faite dans la personne de l'un de ses anciens Présidents, M. Edmond Becquerel, décédé le 11 mai 1891.

Messieurs,

Aucun de vous n'ignore la perte douloureuse que vient d'éprouver la Société de Physique dans la personne de l'un de ses anciens Présidents. M. Edmond Becquerel a été enlevé par une courte maladie à la Science à laquelle il avait montré, depuis plus de cinquante ans, un dévouement complet.

Toute sa carrière, et elle a été des plus belles et des plus fructueuses, s'est faite dans le laboratoire. Associé dès sa jeunesse aux travaux d'Antoine Becquerel son père, il eut à son tour la joie d'associer aux siens son fils Henri et de le voir prendre place à côté de lui à l'Académie des Sciences comme lui-même s'était assis à côté de son père : exemple rare dans l'histoire de la science de traditions familiales et de qualités intellectuelles transmises sans s'affaiblir et s'étendant sur près d'un siècle.

Digitized by Google

Les travaux de M. Edmond Becquerel ont été nombreux et variés. Il me serait impossible de les rappeler tous ici. Je ne puis citer que les plus importants.

En Optique, on lui doit des recherches étendues sur la Photographie. Naguère encore, à l'occasion du beau travail de M. Lippmann, M. Becquerel a fait voir à l'Académie une plaque d'argent conservée depuis quarante ans dans l'obscurité et montrant après si longtemps de beaux spectres photographiés avec leurs couleurs. C'était là un résultat du plus haut intérêt, une promesse qui n'a été réalisée que bien plus tard; il ne manquait à la découverte, pour être complète, que la fixation du spectre obtenu.

C'est à M. Edm. Becquerel qu'est due la découverte des rayons continuateurs, la photographie du spectre ultraviolet, la découverte de raies dans ce spectre; l'étude de son action sur diverses substances, de son absorption par de nombreux liquides organiques; la construction de l'actinomètre électro-chimique dans lequel l'action chimique de la lumière est mesurée par le courant produit entre deux plaques d'argent iodurées, dont l'une est éclairée, tandis que l'autre ne l'est pas.

Il a su mettre de la précision et arriver à des mesures dans un sujet qui avant lui ne semblait guère s'y prêter, en imaginant son phosphoroscope, au moyen duquel il a pu déterminer pour nombre de substances la durée de la phosphorescence, et reconnaître les changements de couleur qui se produisent parfois avec le temps pendant lequel l'émission lumineuse s'est produite.

Il a fait connaître beaucoup de matières phosphorescentes remarquables par l'éclat et par la persistance du phénomène, entre autres ces sulfures aux phosphorescences de couleurs variées, dont MM. Lecoq de Boisbaudran et Verneuil ont expliqué les différences par la présence de quantités infinitésimales de divers composés chimiques. On sait quelles applications usuelles ont rendu ces découvertes populaires.

Ces mêmes sulfures lui ont permis de mettre en évidence pour la première fois les raies du spectre infra-rouge.

M. Edmond Becquerel n'a pas été moins actif dans le champ de l'Électricité que dans celui de l'Optique. Il a fait de nombreuses mesures de résistances de solides et de liquides. C'est lui qui a découvert l'inversion des courants thermo-électriques, lorsqu'on dépasse une certaine température, qui a montré la production de forces thermo-électriques au contact des solides et des liquides, et la grande conductibilité des gaz aux températures élevées. Il a étendu et complété les observations de Matteucci sur la loi de Faraday relative à l'électrolyse.

C'est lui qui a montré la grande puissance des couples thermo-électriques produits par les sulfures métalliques et rendu ainsi possible l'application des courants thermo-électriques.

Avec son père, à la suite de longues études sur le diamagnétisme, il a formulé, pour expliquer les faits, l'hypothèse que le vide est magnétique. Il a déterminé un grand nombre de pouvoirs inducteurs spécifiques.

Digitized by Google

Cette rapide énumération donne à peine une idée du riche bagage scientifique qu'avait accumulé M. Ed. Becquerel et de la perte que fait en lui la Science française et particulièrement notre Société.

Pourquoi n'ajouterai-je pas que les qualités de l'homme étaient au niveau de celles du savant et que par sa bienveillance, son aménité, sa modestie, il s'était attiré autant de sympathie que d'admiration par ses travaux.

La Société était représentée à ses obsèques par son bureau et par un grand nombre de ses membres, et une couronne a été déposée en son nom comme témoignage de reconnaissance sur la tombe de son ancien Président.

M. Moureaux communique à la Société les résultats des observations magnétiques qu'il a effectuées dans le bassin de Paris, de 1888 à 1890. Ces résultats, qui se rapportent à 176 stations, ont servi à tracer, pour les différents éléments, des cartes qui mettent en évidence une anomalie magnétique considérable. Les isogones, par exemple, ne présentent pas la régularité d'allure avec laquelle on les a figurées jusqu'ici. Elles subissent *toutes*, depuis la Manche jusqu'à la Loire, et sans doute au delà, des déformations que n'explique pas, à première vue, la nature des terrains sur lesquels elles s'étendent. L'anomalie se concentre principalement le long d'une ligne qui passerait par Saint-Valery-en-Caux, Rouen, Rambouillet, Bourges; on rencontre, le long de cette ligne, une diminution de la composante horizontale et une augmentation de la composante verticale et de l'inclinaison. On admet, par exemple, que la déclinaison croît d'une manière régulière de l'est à l'ouest. Les observations de M. Moureaux, qui sont très nombreuses et bien concordantes, montrent qu'au contraire la déclinaison est plus grande à Mantes qu'à Evreux, à Versailles qu'à Chartres, à Montargis et Gien qu'à Orléans, etc.; on remarque aussi que des points de longitude très différente, par exemple Versailles et Evreux, ont la même déclinaison.

Cette anomalie tout à fait inattendue pourrait s'expliquer, soit par la présence, à peu de distance au-dessous du sol, de terrains de nature à influencer l'aiguille aimantée, soit par des différences de conductibilité des terrains superficiels pour les courants terrestres, différences résultant de la compression inégale des couches par suite de plissements ou de failles géologiques d'une grande étendue. On ne sera sans doute fixé sur ce point que lorsque le réseau d'observations sera étendu vers le sud, au moins jusqu'à la région volcanique centrale.

M. Cornu fait ressortir l'importance du travail précédent, tant au point de vue du nombre des stations choisies que du soin avec lequel les observations ont été faites. M. Cornu propose à la Société d'adresser ses félicitations à M. Moureaux.

M. E. Hospitalier montre à la Société un procédé indiqué il y a environ deux ans par M. Chapman, de l'Université d'Adélaïde (Australie du

Digitized by Google

Sud) pour la production de fantômes électrostatiques, procédé très simple qui donne des résultats fort remarquables, et rendra service aux professeurs. Les fantômes sont produits à l'aide de cristaux aciculaires de sulfate de quinine, maintenus en suspension dans un liquide isolant, tel que l'essence de térébenthine pure. On place l'essence dans un cristallisoir, sur une épaisseur de 5^{mm} à 6^{mm}, et on la mélange avec les cristaux jusqu'à ce que le liquide prenne une apparence laiteuse : si une sphère en laiton reliée à une machine électrostatique de Wimshurst est placée à un bout du cristallisoir, et qu'une autre boule de laiton, reliée à l'autre pôle, soit placée à l'autre extrémité, dès que la machine est mise en mouvement, les cristaux sont polarisés et se placent bout à bout, formant, entre les sphères, des lignes d'induction très nettes. Ces lignes sont surtout très belles lorsqu'on les regarde par projection sur un fond noir. On peut varier à volonté les expériences et les étendre indéfiniment en changeant le nombre et les formes des conducteurs placés dans le cristallisoir. Le fait qu'il n'y a pas de champ à l'intérieur d'un conducteur creux peut être mis en évidence, en reliant les deux sphères de l'expérience précédente à la machine, et en disposant entre elles un anneau métallique.

Les lignes d'induction vont alors très distinctement de chaque sphère à l'anneau, mais le liquide intérieur conserve son aspect laiteux, les cristaux de sulfate de quinine ne manifestant aucune tendance à s'orienter. La seule condition indispensable à la réussite est que l'essence de térébenthine soit très sèche. M. Hospitalier a obtenu des fantômes également très nets en employant du cofferdam dans de la benzine et même du talc. Il montre à la Société des photographies de ces fantômes obtenues avec le concours de MM. Garbe et Mareschal, soit en formant le fantôme directement sur la plaque au gélatinobromure, au sein même du liquide, soit en plaçant la plaque au-dessous du cristallisoir, soit, enfin, à l'aide d'une chambre noire ordinaire disposée verticalement.

M. Mascart indique un autre moyen employé par lui depuis longtemps pour obtenir les fantômes électrostatiques. Il consiste à coller sur une lame de verre les deux conducteurs, portés à des potentiels différents, entre lesquels doivent se dessiner les lignes de force. En faisant tomber, d'une certaine hauteur, sur la plaque, des brins de fils fins de 1^{mm} à 2^{mm} de longueur, découpés dans un faisceau de ces fils, ces brins se disposent d'eux-mêmes, suivant les lignes de force.

M. d'Arsonval présente un appareil destiné à stériliser et à filtrer rapidement les liquides organiques au moyen de l'acide carbonique liquéfié. Cet appareil se compose essentiellement d'une bouteille contenant 500^{gr} d'acide carbonique liquide, dressée verticalement et sur laquelle vient se visser un tube long et étroit, également vertical, contenant le liquide à stériliser. Ce tube est bouché à chaque bout par un bouchon à vis : le supérieur porte un manomètre indiquant sous quelle pression on opère, et l'inférieur reçoit une bougie filtrante qui y est ajustée par un simple

Digitized by Google

bracelet en caoutchouc chaussé sur une douille recevant l'extrémité inférieure de la bougie cylindrique. La pression du gaz assure l'étanchéité du joint. L'intérieur de la bougie communique avec l'extérieur par un tube muni d'un robinet à pointe d'acier. Le liquide reçoit la pression du gaz pendant un quart d'heure ou une demi-heure, suivant les cas. Cela fait, on ouvre le robinet inférieur; la pression du gaz force le liquide à s'échapper à travers la paroi poreuse. Le liquide recueilli est ainsi doublement stérilisé *à froid* par l'action du gaz et de la filtration combinées. M. d'Arsonval a reconnu que l'acide carbonique à 40^{atm} détruit à froid tous les germes vivants, même ceux qui résistent à la chaleur humide à 100°. En réglant la pression on peut atténuer les cultures microbiennes. On a ainsi l'avantage d'avoir des liquides contenant toutes les matières solubles et albuminoïdes provenant des tissus dont on les extrait; les ferments diastasiques solubles ne sont pas altérés par l'acide carbonique et les liquides extraits du pancréas, par exemple, conservent toutes leurs propriétés digestives.

M. d'Arsonval a reconnu qu'en graduant convenablement la pression on peut séparer les ferments solubles les uns des autres, ainsi que les matières albuminoïdes. Ce procédé constitue un moyen de séparation physique de différents corps qui peut rendre de grands services à l'analyse organique.

Au cours de ses recherches, M. d'Arsonval a de plus constaté d'autres phénomènes intéressants au point de vue de la Chimie pure. On sait que l'acide carbonique, à la pression ordinaire, est déplacé de ses combinaisons par la plupart des autres acides minéraux ou organiques. Il n'en est plus de même à 50^{atm}. Dans ces conditions l'acide carbonique chasse les acides iodhydrique et bromhydrique de leur combinaison avec la potasse. Une solution neutre d'iodure de potassium laissée seulement cinq minutes à 50^{atm} se colore en jaune et bleuit l'amidon. Il en est de même pour les acides chlorhydrique et nitrique. Du silicate de potasse donne immédiatement un précipité de silice gélatineuse. L'acide chromique également est déplacé. Une solution de chromate jaune de potasse se colore en rouge foncé, etc.

Ces déplacements s'expliquent très bien pour les bases (soude, potasse) avec lesquelles l'acide carbonique forme des bicarbonates. En effet, tandis que les acides iodhydrique, bromhydrique, chlorhydrique, nitrique, etc... forment avec la potasse et la soude des combinaisons monobasiques dégageant de 13 à 15^{cal}, les bicarbonates de ces mêmes bases en dégagent 20. L'acide sulfurique, au contraire, n'est pas déplacé, car il peut former des bisulfates dégageant 30^{cal} environ, c'est-à-dire plus que la formation des bicarbonates. Ces déplacements par l'acide carbonique sous pression sont intéressants à bien des égards et peuvent donner notamment l'explication de certains faits géologiques encore assez obscurs.

M. Weiss dit que cette action stérilisante de l'acide carbonique sous pression est connue depuis longtemps déjà et qu'elle est utilisée, particulièrement en Allemagne, pour stériliser la bière. On a, de plus, remarqué

Digitized by Google

que les germes dont le développement est arrêté par l'action de l'acide carbonique varient avec la pression de ce gaz sur le liquide.

M. d'Arsonval répond que ces observations de l'action stérilisante de l'acide carbonique sur la bière ont été faites, en effet, en France, dans le laboratoire de M. Pasteur; mais elles n'avaient pas été étendues jusqu'ici à des germes autres que la levure de bière. D'ailleurs on avait observé seulement l'arrêt momentané du développement de la levure sous une pression qui ne dépasse pas 10^{atm}. Les expériences de M. d'Arsonval prouvent qu'à des pressions assez élevées cet arrêt de développement du ferment n'est plus momentané, mais définitif.

Sur une anomalie magnétique observée dans le bassin de Paris;

Par M. Th. Moureaux.

M. Mascart a bien voulu me confier le soin de réunir des observations magnétiques en nombre suffisant pour permettre une représentation aussi fidèle que possible des lignes isomagnétiques à la surface de la France. Le projet primitif consistait à relever les constantes magnétiques dans les chefs-lieux de département et d'arrondissement, dans les ports, et en certains points spéciaux qu'indiquerait l'étude de la Carte géologique.

Les résultats inattendus obtenus dans le voisinage même de Paris ont montré que, au moins dans cette région, un tel réseau serait insuffisant. Bien que les terrains qui constituent le bassin de Paris soient considérés comme n'ayant aucune action sur l'aiguille aimantée, mes observations, qui sont nombreuses et bien concordantes, ne laissent aucun doute sur l'existence d'une anomalie considérable, affectant tous les éléments et s'étendant depuis la Manche jusqu'à la Loire et vraisemblablement au delà.

Les instruments dont je fais usage ont été présentés à la Société, il y a quelques années, par M. Mascart; ils sont au nombre de deux, un théodolite-boussole, permettant de mesurer à volonté la déclinaison ou la composante horizontale, une boussole d'inclinaison. Construits spécialement pour le voyage par MM. Brunner,

Digitized by Google

ces appareils, sans perdre en précision, ont été rendus réellement portatifs par la réduction des organes et des cercles; renfermés dans leur boîte, ils n'atteignent pas un poids total de 6^{kg}. L'observateur est donc libre de choisir les points d'observation à son gré.

Je n'exposerai pas ici les méthodes d'observation; elles ont été décrites l'année dernière dans les *Annales de Chimie et de Physique;* je dirai seulement que les diverses mesures sont effectuées avec le plus grand soin et dans les meilleures conditions possibles; les stations sont toujours choisies en dehors des villes, à distance des lignes de chemins de fer, des conduites souterraines, etc., de façon à éviter toute influence perturbatrice accidentelle; de plus, j'ai pris l'habitude de répéter mes mesures à titre de contrôle; à moins de raisons majeures, dues principalement aux circonstances atmosphériques, chaque station comprend deux mesures de la déclinaison, de l'inclinaison et de l'intensité. Le nord géographique est déduit de dix ou douze hauteurs du Soleil.

Les valeurs obtenues en chaque point sont corrigées de la variation diurne et de la variation séculaire par comparaison avec les courbes relevées au magnétographe de l'observatoire du Parc Saint-Maur.

Les déterminations faites en 1888, 1889 et 1890, sont ramenées au 1er janvier 1891. Les nombres rendus ainsi comparables sont alors portés sur une carte, et on réunit par des lignes les points où l'élément considéré a la même valeur. La déclinaison, l'inclinaison, la composante horizontale, sont obtenues directement; la composante verticale et la force totale sont calculées d'après les relations connues; j'ai donc pu préparer des cartes de tous les éléments pour la région explorée.

Jusqu'ici, les cartes d'isogones ont été dressées, en France, en admettant la parfaite régularité de leur distribution; le petit nombre d'observations qui ont servi à les établir ne permettait guère de conclure autrement. Ainsi, la déclinaison n'avait jamais été observée entre Paris et le Mans; l'interpolation pour les points intermédiaires ne pouvait pas faire soupçonner les particularités que seule l'observation directe devait mettre en évidence.

Le 22 juin 1885, j'avais fait à Chartres une première série de déterminations dont les résultats calculés étaient en désaccord

Digitized by Google

marqué avec ceux qu'on était en droit d'attendre d'après le tracé régulier des lignes isomagnétiques; comme les expériences avaient eu lieu dans de bonnes conditions, je n'avais pas de motif de les trouver suspectes; elles sont imprimées avec mes autres déterminations de la même année. Une seconde série faite le 17 août 1888, puis une troisième le 21 mai 1889, en des points différents, confirmaient pleinement l'existence d'une anomalie magnétique à Chartres. Pour m'assurer de l'étendue de cette anomalie, j'ai opéré dans le voisinage de toutes les stations de chemins de fer entre Paris et Nogent-le-Rotrou; les résultats, ramenés à une même époque, montraient que la déclinaison, au lieu d'augmenter régulièrement vers l'ouest, croît de Paris à Trappes et à Chevreuse où elle passe par un maximum; elle *diminue* ensuite de 27′ entre Chevreuse et Épernon, et ne reprend sa variation normale avec la longitude qu'aux environs du Mans. Les autres éléments magnétiques affectent également des troubles de même ordre.

Le tracé des lignes isomagnétiques devenait assez difficile dans ces conditions; il convenait, avant de l'exécuter, de parcourir toute la région en y faisant de nombreuses déterminations; j'ai été ainsi conduit à donner au réseau projeté une plus grande extension.

Le nombre des stations comprises dans les limites des Cartes est de 176, dont 81 dans un rayon de 100^{km} autour de Paris.

Ce sont les résultats de ces premières campagnes que j'ai l'honneur de résumer ici.

Considérons la déclinaison. Les isogones ne conservent guère leur direction normale que dans l'extrême nord de la France; celle de 16° par exemple, au lieu de se prolonger au sud-ouest, s'infléchit bientôt vers le sud, passe un peu à l'ouest de Paris, à Saint-Germain en Laye, et se dirige ensuite au sud-sud-est jusqu'à la Ferté-Alais; là elle se replie sur elle-même dans la direction d'Évreux, puis gagne enfin le sud par Vendôme. Celle de 15°40′, qui traverse le département de la Seine, par Saint-Denis et Charenton, se dirige également au sud-sud-est jusqu'au delà de Sancerre, et rebrousse brusquement jusqu'à Épernon avant de redescendre au sud. Depuis la côte de la Manche jusqu'à Cosne et Sancerre, limite actuelle du réseau vers le sud, les isogones, tracées de 10′ en 10′, non par interpolation, mais d'après l'observation directe, affectent *toutes* cette déformation particulière. Ainsi, contre toute

Digitized by Google

attente, la déclinaison est plus grande à Mantes qu'à Évreux, à Versailles qu'à Chartres, à Montargis et Gien qu'à Orléans, à Cosne qu'à la Motte-Beuvron, etc. On peut remarquer encore que la déclinaison a la même valeur en des points de longitude très différente, par exemple à Versailles et à Évreux, dont la différence de longitude est d'environ un degré.

En comparant la Carte des isogones vraies avec la Carte des isogones supposées régulières, on a calculé, pour chaque point, l'écart entre la théorie et l'observation, et ces écarts ont servi à construire une Carte des isanomales de la déclinaison. Les isogones observées se confondent avec les isogones théoriques sur une ligne qui, partant de Saint-Valéry en Caux, se dirigerait un peu à l'est de Bourges, par Rouen, Rambouillet, Châteauneuf-sur-Loire.

Cette ligne semble se continuer sur le sud de l'Angleterre, depuis la côte jusqu'au voisinage d'Oxford, ainsi qu'il résulte du *Magnetic survey* des Iles Britanniques, effectué dans ces dernières années par MM. Thorpe et Rücker.

La déclinaison est trop grande à l'est, et trop faible à l'ouest de cette ligne; l'écart est de $+15'$ à Mantes, $+20'$ à Chevreuse, $+26'$ à Gien, $+42'$ à Sancerre; de $-12'$ à Lisieux, Évreux, Orléans, $-15'$ à Épernon, $-21'$ à Auneau. Les choses se passent comme si le pôle nord de l'aiguille aimantée était attiré de part et d'autre vers la ligne considérée, par une force assimilable à l'action extérieure d'un pôle sud; comme conséquence, on doit rencontrer, sur cette ligne, un excès de l'inclinaison et un défaut de la composante horizontale. L'observation montre effectivement que l'anomalie se traduit par une diminution de la composante horizontale et par une augmentation de la composante verticale et de l'inclinaison. Cette dernière action étant prépondérante, il en résulte, en définitive, un accroissement de la force magnétique terrestre.

Il reste à expliquer la cause de ces intéressants phénomènes. Le sous-sol du bassin parisien est généralement représenté sous la forme d'une immense cuvette comblée par les terrains récents : on a effectivement creusé, à Paris même, des puits artésiens à plus de 500^m de profondeur sans atteindre les terrains primitifs, mais ce fait n'est pas concluant; peut-être rencontrerait-on ces terrains en d'autres points.

Digitized by Google

On sait qu'une bande de jurassique, orientée du nord-ouest au sud-est, se montre à nu dans le pays de Bray, depuis Neufchâtel jusqu'au voisinage de Beauvais.

D'un autre côté, Dufresnoy et Élie de Beaumont rapportent que, dans le forage d'un puits à Rouen, c'est-à-dire précisément sur la ligne d'anomalie, ce même terrain a été rencontré à 39^m de profondeur.

Les sondages ont montré que le fond de la mer est très accidenté; les îles et les récifs en sont d'ailleurs un témoignage visible. On peut supposer, par analogie, que les terrains, dans le bassin de Paris se superposent de même d'une manière irrégulière; l'anomalie magnétique observée pourrait peut-être trouver son explication dans la présence d'une chaîne formée par des roches susceptibles d'influencer l'aiguille aimantée, mais n'affleurant pas la surface du sol.

Il faut rappeler toutefois qu'au voisinage immédiat de roches magnétiques, par exemple en Suède où le fer oxydulé est très répandu, les valeurs observées présentent habituellement des discordances telles qu'il n'est pas possible de les relier par des courbes; ici, au contraire, la déformation des lignes isomagnétiques se dessine avec une remarquable régularité.

Une seconde hypothèse est basée sur l'inégale conductibilité des terrains pour les courants qui circulent dans les couches superficielles de l'écorce terrestre. Une grande faille géologique peut mettre en présence des terrains de conductibilité très différente; des terrains de même nature, mais diversement comprimés, produiraient également le même effet. Or on sait, par les travaux de M. de Lapparent, qu'il existe des dislocations de grande étendue dans le pays de Bray, et M. Gustave Dollfus a montré que les couches crétacées du bassin de Paris, ont subi des plissements nettement caractérisés, auxquels doivent correspondre des différences de compression se traduisant par des différences de conductibilité pour les courants terrestres.

Il sera sans doute difficile de se former une idée précise sur ce point, avant que le réseau d'observation ait été étendu vers le sud, au moins jusqu'à la région volcanique centrale. Là, l'influence propre des roches est manifeste, et il sera intéressant de voir comment les phénomènes magnétiques, dans les monts d'Auvergne, se rattacheront aux résultats qui viennent d'être exposés.

Digitized by Google

Quant à présent, je dois me borner à soumettre un *document*, que je me suis appliqué à préparer avec toute l'exactitude que comportent les moyens actuels d'investigation.

SÉANCE DU 5 JUIN 1891.

PRÉSIDENCE DE M. FRIEDEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 mai 1891 est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

MM. l'abbé Laflamme, Professeur à l'Université Laval, à Québec (Canada).
l'abbé Leray, Aumônier, à Paris.
Rozier, Docteur en médecine, à Paris.
La Bibliothèque universitaire de Lille.

M. le Président annonce à la Société que l'Association française pour l'avancement des Sciences tiendra son 20e Congrès à Marseille du 17 au 24 septembre. Dans la prochaine réunion la Société désignera un délégué pour la représenter au Congrès de Marseille.

M. l'abbé Leray expose quelques expériences qu'il a faites en vue de confirmer la *théorie cinétique des gaz*.

Le meilleur moyen de confirmer une théorie est de déduire les conséquences renfermées dans ses principes et de les vérifier ensuite par l'expérience. Or il résulte de l'hypothèse cinétique que la longueur moyenne du chemin libre des molécules varie, pour un même gaz, en raison inverse de sa densité. Par suite, cette longueur peut devenir égale aux dimensions d'un vase donné, si la raréfaction est poussée assez loin. Supposons ce degré de vide atteint pour un gaz renfermé dans une boule de verre; nous pourrons négliger, sans erreur appréciable, les chocs des molécules entre elles, et ne tenir compte que des chocs contre les parois. Si la température est uniforme sur toute la surface de la boule, les molécules gazeuses posséderont la même vitesse moyenne dans toutes les directions et une ailette mobile placée à l'intérieur de l'appareil sera en équilibre. Si une portion de la surface est plus chaude que le reste, les molécules réfléchies sur cette portion auront une vitesse, et par suite une force impulsive supérieure à celle des autres molécules, et elles tendront à repousser l'ailette mobile. La position de l'ailette peut donc servir à indiquer la résultante de tous les flux de chaleur qui atteignent l'appareil et celui-ci pourrait être appelé *girouette de chaleur*.

Si l'on installe dans la boule un moulinet formé de plusieurs ailettes

Digitized by Google

également inclinées à l'horizon, le moulinet tournera dans un sens ou dans l'autre, lorsque l'hémisphère supérieur sera plus chaud ou plus froid que l'hémisphère inférieur. Dans le cas où l'on recouvrirait l'un des hémisphères de noir de fumée, l'appareil tournerait au Soleil avec la régularité d'un radiomètre ordinaire.

Toutes ces conséquences de la théorie sont confirmées par l'expérience.

M. Weiss rappelle le procédé indiqué par M. Cuignet, de Lille, pour reconnaître l'état de réfraction d'un œil et trouver le verre correcteur.

L'explication du phénomène est très simple; une zone éclairée de la rétine de l'œil observé donne un faisceau émergent; l'observateur voit la pupille éclairée ou sombre en ses divers points, suivant sa position dans le faisceau, et si l'on vient à déplacer la tache lumineuse de la rétine observée, le faisceau émergent se déplaçant, on verra des ombres envahir la pupille. Il est facile de faire voir que ce déplacement change de sens suivant que l'observateur est en deçà ou au delà du point d'intersection des divers cônes lumineux ayant pour base la pupille et pour sommet un point du plan sur lequel accommode l'œil observé. On peut suivre le phénomène dans tous ses détails en se servant de deux yeux artificiels formés chacun d'une lentille et d'un écran et réaliser les divers cas qui peuvent se présenter; en prenant le diamètre antéro-postérieur de l'œil observateur assez grand, tout un auditoire peut distinguer ce qui se passe sur la rétine. Les ombres centrales qui se produisent ne font pas partie de l'ombre pupillaire, elles sont dues au trou de l'ophtalmoscope, ainsi qu'il est facile de le vérifier en se servant comme ophtalmoscope d'un verre platiné sans trou au lieu du miroir percé ordinairement employé. M. Pellin répète l'expérience devant la Société.

M. Colardeau expose des recherches faites en collaboration avec M. Cailletet et relatives à la détermination de la loi des pressions de la vapeur d'eau saturante et du point critique de cette substance.

Les méthodes habituelles de détermination des températures critiques présentent des difficultés particulières avec l'eau. En effet, à la température à laquelle il est nécessaire de porter ce liquide, les tubes de verre s'altèrent rapidement et font explosion sous la pression de la vapeur.

Les résultats d'expériences faites précédemment sur l'état critique de la matière ont suggéré aux auteurs une méthode qui n'a pas ces inconvénients, car elle permet d'opérer sans voir le liquide, et, par suite, de l'enfermer dans un tube de métal très résistant.

Ce tube, qui est relié à un manomètre, peut contenir un poids variable d'eau, suffisant pour ne pas être entièrement vaporisé avant le point critique, mais insuffisant pour remplir complètement le tube par sa dilatation. Ce tube est chauffé dans un bain de nitrate de soude et de potasse en fusion qui permet de le porter au delà de 400°. Pour chaque température, on mesure la pression de la vapeur et on construit la courbe des résultats en prenant les températures comme abscisses et les pressions comme or-

Digitized by Google

données. Les courbes ainsi obtenues sont, jusqu'au point critique, les courbes de la pression de la vapeur saturante : elles coïncident donc exactement. Mais, à partir de là, chacune d'elles prend une direction qui dépend de la quantité d'eau sur laquelle on a opéré. La température critique est donc déterminée graphiquement par l'abscisse du point de divergence de ces courbes, tandis que la pression critique est fournie par l'ordonnée du même point.

L'appareil avec lequel ces expériences ont été faites consiste en un tube d'acier contenant le liquide étudié. Il est rattaché à un manomètre à hydrogène comprimé et à une pompe hydraulique par un conduit capillaire également en acier et rempli d'une colonne de mercure qui sert à transmettre la pression de la vapeur d'eau au manomètre. La pompe sert à injecter de l'eau au-dessus de cette colonne de mercure de façon à l'empêcher de se déplacer sous la pression de la vapeur, et à maintenir invariable la capacité réservée, dans le tube laboratoire, au liquide et à sa vapeur. C'est par un système de contacts électriques que cette invariabilité du volume est assurée.

La courbe des pressions de la vapeur d'eau saturante et le point critique de l'eau ont été déterminés à l'aide de six séries d'expériences faites avec cette méthode.

La température critique de l'eau, déterminée par le point de divergence des courbes, a été trouvée égale à 365°. La pression critique correspondante est de $200^{atm},5$.

La loi expérimentale des pressions de la vapeur d'eau saturante étant ainsi obtenue, on a cherché à la comparer aux données théoriques actuellement connues. On sait que divers physiciens, et en particulier Clausius, ont établi des relations mathématiques entre la loi des pressions des vapeurs saturantes et les lois de compressibilité sous les deux états liquide et gazeux.

D'après la théorie de Clausius, la pression P d'une vapeur saturante serait rattachée à la température absolue T, par la relation qu'on obtiendrait en éliminant σ et s entre les trois équations suivantes

$$\frac{P}{RT} = \frac{1}{s-\alpha} - \frac{1}{\theta(s+\beta)^2},$$

$$\frac{P}{RT} = \frac{1}{\sigma-\alpha} - \frac{1}{\theta(\sigma+\beta)^2},$$

$$\frac{P}{RT}(s-\sigma) = \log\frac{s-\alpha}{\sigma-\alpha} - \frac{1}{\theta}\left(\frac{1}{s+\beta} - \frac{1}{\sigma+\beta}\right);$$

α, β, R sont trois constantes dépendant de la nature de la substance étudiée. θ est une fonction à laquelle Clausius a été conduit à donner la forme $\frac{1}{\theta} = \frac{a}{T^n} - b$, a, b, n étant trois constantes dépendant aussi de la nature du corps étudié.

L'élimination de s et σ entre les trois équations précédentes est impossible. Mais, par des changements de variables et des artifices convenables,

Digitized by Google

Clausius a néanmoins rendu possible le calcul numérique des valeurs de P correspondant à chaque valeur de T. Des Tables numériques, dressées par lui, facilitent beaucoup ce calcul et permettent même de le faire sans connaître les deux constantes α, β, à la condition de connaître la température et la pression critique du corps étudié. Dans ces conditions, il ne reste que les trois constantes a, b, n à déterminer.

Les expériences qu'on vient de décrire ont donné pour l'eau les valeurs $a = 4033,869$, $b = 0,8320$, $n = 1,1918$.

La comparaison entre les valeurs de P calculées par ces formules et celles fournies par l'expérience ont donné une concordance très satisfaisante.

M. Bertrand a été conduit, par d'autres considérations théoriques, à représenter les pressions de la vapeur d'eau saturante, par une formule de la forme

$$P = G \frac{T^a}{(T + 127)^b}.$$

Les expériences faites sur l'eau ont donné les valeurs suivantes des trois constantes : $a = 57,074$, $b = 59,572$, $\log G = 14,00527$. Cette formule donne, pour la comparaison entre le calcul et l'expérience, une approximation de même ordre que celle de Clausius.

Dans les expériences qui viennent d'être décrites, le manomètre à hydrogène comprimé n'a servi que d'intermédiaire et les pressions ont été mesurées à l'aide du manomètre de la tour Eiffel sur lequel le manomètre à hydrogène a été directement étalonné.

M. Ph. Pellin présente un appareil oxy-éthérique destiné à remplacer l'appareil oxhydrique pour les projections, lorsqu'on n'a pas à sa disposition les gaz d'éclairage.

Cet appareil a été apporté à M. Pellin par M. J.-A. Zahm, professeur à l'Université de Notre-Dame (Indiana); il a été construit par M. Mac-Intosh.

La partie essentielle est un cylindre garni intérieurement de feutre et dans lequel on introduit de l'éther; il porte un robinet à chacune de ses extrémités. Son emploi est des plus simples : sur le tube qui conduit l'oxygène du récipient au chalumeau, on branche un tube de dérivation qui permet à une partie de l'oxygène de traverser le cylindre carburateur et arriver de là au second robinet du chalumeau par un tube de caoutchouc. La durée du fonctionnement peut être de cinq heures avec 500^{gr} d'éther, sous une pression de gaz oxygène égale à 20^{cc} d'eau. M. Pellin fait fonctionner l'appareil devant la Société.

M. Pellin présente aussi une modification qu'il a faite au chalumeau oxhydrique : au moyen d'une pièce spéciale il adapte, à la place du bâton de chaux, une lentille à base de magnésie, dont la durée peut être de cent heures si l'on évite l'élévation trop brusque de la température au moment de l'allumage. On n'a pas, avec ces lentilles, l'inconvénient que présentent les bâtons de chaux de se désagréger à l'air; la lumière obtenue est très intense et plus blanche.

Digitized by Google

Recherches sur la pression de la vapeur d'eau saturante jusqu'au point critique et sur la détermination de ce point critique;

PAR MM. CAILLETET ET COLARDEAU.

Dans une série d'expériences faites en 1889 au laboratoire de Physique de l'École Normale supérieure (1), nous avons été amenés à une méthode nouvelle permettant de déterminer en même temps le point critique et la loi des pressions de la vapeur saturante d'une substance quelconque.

Avec l'eau, en effet, les méthodes usuelles ne peuvent s'appliquer à cause de l'attaque du verre par ce liquide à haute température. La méthode que nous avons employée permet d'opérer sans voir le liquide et, par suite, de l'enfermer dans un tube de métal très résistant.

La quantité d'eau contenue dans ce tube est variable dans les diverses expériences. Elle est suffisante pour fournir de la vapeur saturante jusqu'au point critique, mais ne peut remplir totalement, par sa dilatation, l'espace qui la contient. La courbe des pressions de la vapeur saturante est toujours la même jusqu'à la température critique, quel que soit le poids du liquide. Mais, au-dessus de cette température, une courbe particulière correspond à chaque poids de liquide employé.

Ainsi que nous l'avons dit, les poids variables d'eau étaient enfermés, lors de nos expériences, dans un tube d'acier relié à un manomètre. Ce tube étant chauffé dans un bain à température élevée, le manomètre donne, pour chaque température, la pression correspondante, ce qui permet de tracer la courbe des résultats en prenant comme abscisses les températures, et, comme ordonnées, les pressions. Il est facile de s'assurer que toutes ces courbes coïncident jusqu'en un certain point dont l'abscisse, d'après ce qui précède, représente la température critique. Au delà de ce point, chaque courbe prend une direction particulière qui dépend de la quantité d'eau employée.

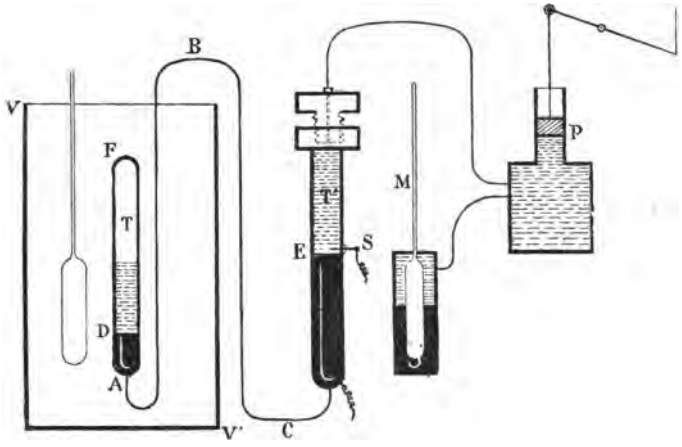
---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XVIII, octobre 1889.

Digitized by Google

Le tube d'acier T (¹) (*fig.* 1), dans lequel l'eau est contenue, a environ 15^{mm} de diamètre intérieur et une épaisseur de 5^{mm} suffisante pour résister à ces hautes pressions. La longueur de ce tube est de 20^{cm} environ. C'est cette partie de l'appareil qui est chauffée directement dans le bain VV'. La partie inférieure de ce tube est reliée par un conduit capillaire d'acier flexible ABC à un autre

Fig. 1.



tube T' également en acier, et de même diamètre que T. Enfin ce tube T' communique lui-même à un manomètre à hydrogène comprimé M et à une pompe P permettant de refouler de l'eau dans T'.

La pression de la vapeur dans le tube T est transmise au manomètre par l'intermédiaire de cette eau et d'une colonne de mercure qui occupe tout l'espace DABCE. Un fil de platine isolé S traverse la paroi de T'. Il est relié à une sonnerie électrique qui entre en jeu quand le mercure de T' vient à le toucher. Ce dispositif permet, comme on va le voir, de maintenir rigoureusement constante la capacité DF réservée, dans le tube-laboratoire, au liquide et à sa

(¹) Nous nous attendions à être obligés de doubler intérieurement de platine le tube d'acier, à cause de la décomposition possible de l'eau par le fer à ces températures; mais nous n'avons jamais constaté de dégagement d'hydrogène aux températures les plus élevées réalisées au cours des expériences : sans doute, il se forme sur la paroi interne du tube une mince couche protectrice d'oxyde magnétique.

Digitized by Google

vapeur. En effet, à mesure que la température s'élève et que la pression s'accroît, le mercure tend à être refoulé de T vers T'. Dès que le fil de platine S, par un contact avec ce mercure, fait fonctionner la sonnerie, on manœuvre très lentement le piston de la pompe à compression, de façon à ramener le mercure toujours au même niveau indiqué par l'arrêt de la sonnerie.

Le bain liquide employé en premier lieu pour le chauffage du tube-laboratoire était le mercure. Dès nos premières expériences, nous avons reconnu que le point d'ébullition de ce liquide est inférieur à la température critique de l'eau. Nous avons eu alors recours à un bain formé d'un mélange à parties égales de nitrate de soude et de potasse. Ce mélange, notablement plus fusible que chacun de ses éléments, est liquide à partir de 220° et permet de dépasser facilement la température de 400°.

Ce bain était chauffé par plusieurs couronnes de gaz. Pour faire une observation, on réglait le gaz de façon à obtenir une température stationnaire et l'on agitait énergiquement le bain pour uniformiser cette température. Amenant alors, par une manœuvre convenable de la pompe, le contact du mercure en S, on lisait simultanément la pression au manomètre et la température aux divers thermomètres. Nous avons employé successivement un thermomètre à air et deux thermomètres à mercure, construits de façon à pouvoir mesurer des températures supérieures à 400°.

Les résultats obtenus sont consignés dans la courbe ci-jointe (*fig.* 2). La température à laquelle commencent nos expériences est de 224° environ. Celle à laquelle Regnault s'était arrêté dans la détermination des pressions maxima de la vapeur d'eau est de 230°. On voit que notre courbe se raccorde exactement à celle de Regnault et que l'intervalle AB, de 224° à 230°, est un arc commun à ces deux courbes.

Les points qui ont servi au tracé de cette figure sont au nombre de soixante environ. Ils ont été obtenus au moyen de six séries d'expériences réalisées avec autant de poids d'eau différents dans le tube-laboratoire T. Les six courbes obtenues séparément dans chaque série coïncident jusqu'au point qui correspond sensiblement à l'abscisse 365°. A partir de là les six courbes divergent nettement et chacune d'elles prend une direction particulière.

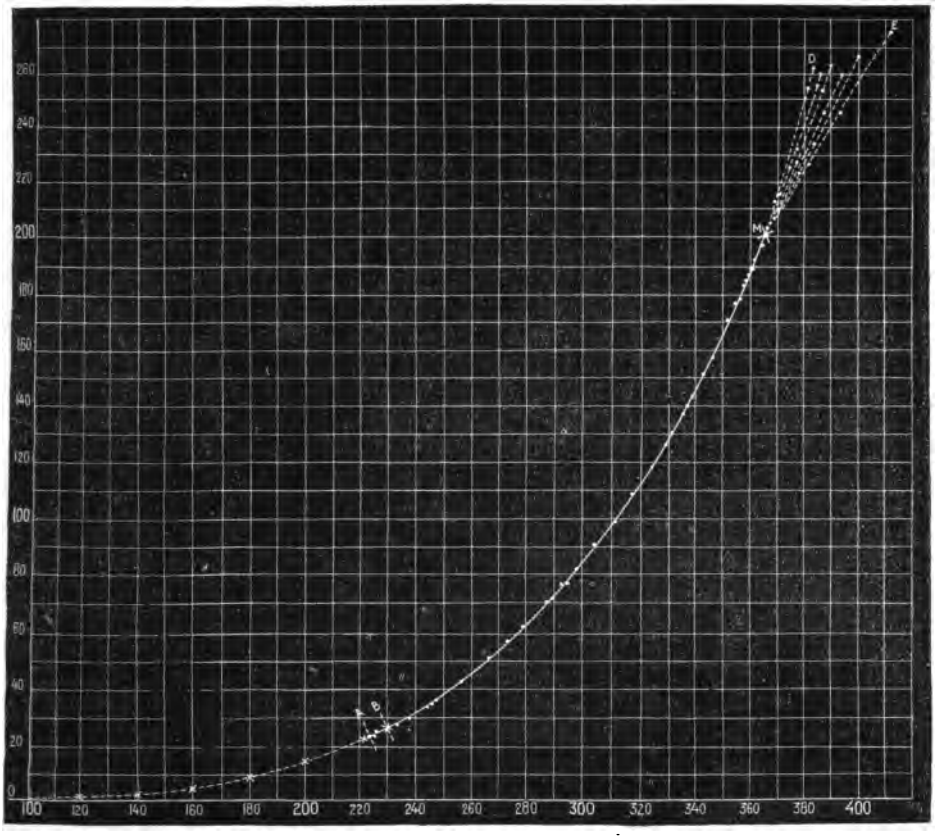
Nous devons en conclure que la température critique de l'eau,

Digitized by Google

déterminée par l'abscisse du point de divergence, est de 365°.

Sur la figure, l'ordonnée qui correspond au même point et qui détermine la pression critique donne, pour celle-ci, la valeur de $200^{atm},5$.

Fig. 2.



OB, courbe de Regnault construite jusqu'à 230°.
AM, courbe des pressions de la vapeur d'eau saturante, de 224° au point critique.
M, point critique.
DME, faisceau des courbes divergentes au delà du point critique.

On peut se demander ce qui arriverait si la quantité de liquide sur laquelle on opère venait à remplir totalement le tube par sa dilatation ou à être complètement vaporisée avant d'avoir atteint le point critique. On se rend compte facilement que, dans le pre-

Digitized by Google

mier cas, à partir de l'instant où le tube sera entièrement rempli, la pression s'élèvera avec une très grande rapidité. On aura une courbe qui se détachera de celle des tensions de la vapeur saturée avant le point qui correspond à la température critique et qui s'élèvera plus rapidement qu'elle. Dans le second cas, où la quantité de liquide serait insuffisante, la courbe passerait au-dessous de celle des pressions de la vapeur saturante.

Si l'on définit le point critique comme étant celui où les courbes bien connues d'Andrews présentent un point d'inflexion où la tangente est horizontale, il est facile de se rendre compte qu'à chaque poids de matière employée correspond, vers la pression critique, un volume critique bien déterminé. Par suite, dans nos expériences où le même volume contient successivement des quantités différentes de matières, c'est l'un ou l'autre des cas qui viennent d'être examinés qui se présente toujours ([1]). C'est pourquoi, dans le faisceau des courbes divergentes de la figure, on en trouve qui passent au-dessus du prolongement de la courbe des tensions de la vapeur saturée, tandis que les autres restent au-dessous.

On conçoit donc que, si l'on faisait varier dans de trop larges limites les quantités de liquide en expérience, les courbes cesseraient de se séparer sensiblement d'un point unique : leurs points de divergence se trouveraient répartis, sur la courbe, suivant un arc d'une certaine longueur dont l'extrémité supérieure serait le point critique, et qui donnerait une figure ayant l'aspect d'une barbe de plume.

L'expérience doit donc être conduite de façon que les quantités d'eau employées varient entre des limites assez restreintes.

Nous avons constaté, dans la construction de nos courbes, tout ce qui vient d'être expliqué. Il était utile de ne conserver, pour la clarté de la figure, que les courbes dont les points de divergence étaient suffisamment rapprochés pour correspondre sensiblement à un point unique sur le dessin. Ce sont alors les coordonnées de ce point qui nous ont fourni les éléments critiques.

([1]) A moins que, par l'effet du hasard, le volume critique du poids de matière employé ne soit précisément égal au volume du tube-laboratoire. On aurait alors une courbe qui serait le prolongement exact de la courbe des pressions de la vapeur saturante.

Digitized by Google

Pour nous assurer de l'exactitude de notre méthode, nous avons cherché à la vérifier sur un corps dont le point critique fût déjà connu. En examinant les Mémoires de Cagniard-Latour, nous avons précisément trouvé deux expériences faites par lui sur l'éther, avec des rapports différents entre la capacité du tube et le poids de liquide employé. Dans ces expériences, en même temps que les températures, les pressions avaient été mesurées, au moins d'une façon approximative, en atmosphères, à l'aide d'un manomètre à air comprimé. Ces conditions, réalisées sans aucune idée préconçue, se trouvent être précisément celles de nos expériences. Nous avons donc pu construire, *avec les seules données de Cagniard-Latour,* deux courbes. Nous avons constaté que, parallèles entre elles jusqu'à la température d'environ 190°, elles divergent ensuite l'une de l'autre de la manière la plus nette. L'ordonnée du point de divergence correspondrait à la pression de 38^{atm}. On sait que les valeurs de la température et de la pression critiques admises aujourd'hui pour l'éther sont sensiblement égales à celles ainsi déterminées par les expériences de Cagniard-Latour.

La courbe expérimentale des pressions de la vapeur saturante ainsi obtenue, il était important de la comparer aux données théoriques actuellement connues. On sait que divers physiciens, et en particulier Clausius [1], ont établi des relations mathématiques entre la loi des pressions des vapeurs saturantes, et les lois de compressibilité sous les deux états liquide et gazeux.

D'après la théorie de Clausius, la pression P d'une vapeur saturante serait rattachée à la température absolue T, par la relation que l'on obtiendrait en éliminant σ et s entre les trois équations suivantes

$$\frac{P}{RT} = \frac{1}{s-\alpha} - \frac{1}{\theta(s+\beta)^2},$$

$$\frac{P}{RT} = \frac{1}{\sigma-\alpha} - \frac{1}{\theta(\sigma+\beta)^2},$$

$$\frac{P}{RT}(s-\sigma) = \log\frac{s-\alpha}{\sigma-\alpha} - \frac{1}{\theta}\left(\frac{1}{s+\beta} - \frac{1}{\sigma+\beta}\right).$$

---

[1] *Annalen der Chemie und Physik*, nouvelle série, t. XIV, p. 279; 1881. Traduction française, *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XXX, p. 433; 1883.

Digitized by Google

α, β, R sont trois constantes dépendant de la nature de la substance étudiée. Θ est une fonction à laquelle Clausius a été conduit à donner la forme $\left(\frac{1}{\Theta} = \frac{a}{T^n} - b\right)$, a, b, n étant trois constantes dépendant aussi de la nature du corps étudié.

L'élimination de s et σ entre les trois équations précédentes est impossible. Mais, par des changements de variables et des artifices convenables, Clausius a néanmoins rendu possible le calcul numérique des valeurs de P, correspondant à chaque valeur de T. Des Tables numériques, dressées par lui, facilitent beaucoup ce calcul et permettent même de le faire sans connaître les deux constantes α, β, à la condition de connaître la température et la pression critiques du corps étudié. Dans ces conditions, il ne reste que les trois constantes a, b, n à déterminer. Les expériences que l'on vient de décrire ont donné, pour l'eau, les valeurs

$$a = 4033,869, \qquad b = 0,8320, \qquad n = 1,1918.$$

La comparaison entre les valeurs de P calculées par ces formules et celles fournies par l'expérience a donné une concordance très satisfaisante. Sur la *fig.* 2, ci-jointe, il serait impossible, avec l'échelle adoptée, de tracer séparément la courbe théorique auprès de la courbe expérimentale, car toutes deux seraient comprises dans l'épaisseur du trait du dessin.

M. Bertrand [1] a été conduit, par d'autres considérations théoriques, à représenter les pressions de la vapeur d'eau saturante par une formule de la forme

$$P = G \frac{T^a}{(T + 127)^b}.$$

Les expériences faites sur l'eau ont donné les valeurs suivantes des trois constantes

$$a = 57,074, \qquad b = 59,572, \qquad \log G = 14,00527.$$

Cette formule donne, pour la comparaison entre le calcul et l'expérience, une approximation qui ne diffère pas beaucoup de celle obtenue avec la fonction de Clausius.

Le Tableau numérique suivant contient les résultats de ces

---

[1] J. Bertrand, *Thermodynamique*, Chap. IX. Paris, 1887.

Digitized by Google

comparaisons pour des températures espacées de 25° en 25° à partir de 100° jusqu'au point critique.

Températures centigrades.	Tensions de la vapeur saturée observées.	calculées. Clausius.	calculées. M. Bertrand.
0	atm	atm	atm
100	1,0	1,0	1,0
125	2,2	2,3	2,2
150	4,7	4,7	4,5
175	8,8	8,6	8,4
200	15,3	15,1	14,8
225	25,1	25,2	24,6
250	39,2	39,5	38,9
275	59,4	59,3	59,1
300	86,2	86,2	86,2
325	121,6	121,6	122,0
350	167,5	167,3	167,8
365	200,5	200,5	200,5

Dans les expériences qui viennent d'être décrites, le manomètre à hydrogène comprimé n'a servi que d'intermédiaire, et les pressions ont été mesurées à l'aide du manomètre de la tour Eiffel, sur lequel le manomètre à hydrogène a été directement étalonné.

SÉANCE DU 19 JUIN 1891.

PRÉSIDENCE DE M. FRIEDEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 juin est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. SAÏD (M.), Élève ottoman à l'École supérieure des Télégraphes.

Balance de précision à pesées rapides, par V. SERRIN. — Pour effectuer une pesée au moyen de la balance de précision, on se sert de tout petits poids formés de feuilles en métal allant jusqu'au milligramme; au delà on fait usage de poids, en fil également métallique, dits cavaliers.

Une pesée peut se diviser en deux phases : l'ébauche, le complément; la première est rapide et rudimentaire, la seconde est lente et méticuleuse.

Digitized by Google

La nouvelle balance a pour but, non seulement d'effectuer des pesées rapides, mais encore de supprimer tous les poids divisionnaires à partir du décigramme.

A cet effet, un des bras du fléau reçoit l'une des extrémités d'une toute petite chaîne dont l'autre est fixée après un curseur glissant sur une colonne verticale graduée en 100 parties de $0^m,002$ représentant chacune un milligramme, qu'un vernier permet encore de diviser en dixièmes et au delà au besoin.

La chaîne se manœuvre facilement de l'extérieur de la cage à l'aide d'un bouton *ad hoc,* de telle façon que, lorsqu'une pesée a été ébauchée à un décigramme près, il n'est plus nécessaire d'ouvrir la cage pour la compléter.

Pour connaître la valeur de cette pesée il suffira d'ajouter aux poids, déposés dans l'un des plateaux, le nombre de dixièmes de milligramme indiqué sur la colonne par le curseur.

En résumé, on voit que, par ce nouveau système, les manipulations si longues et si délicates des poids divisionnaires et du cavalier sont supprimées et remplacées par une opération simple et rapide permettant d'abréger considérablement le temps qu'exige d'ordinaire la pesée de précision.

Enfin un dernier avantage, que fait remarquer l'Auteur, c'est la propriété que possède la chaîne d'amortir notablement les oscillations perpétuelles du fléau.

M. Th. Schwedoff présente un appareil imaginé par lui, construit par M. Pellin et destiné à contrôler les théories des mouvements observés dans l'atmosphère.

La partie essentielle de l'appareil est un vase cylindrique rempli d'eau et monté sur un axe vertical, percé dans toute sa longueur. Une couronne de flammes disposée sous le vase permet d'en échauffer le fond sur toute la périphérie. Une petite pompe, rattachée au fond du vase par l'intermédiaire de l'axe, permet d'y injecter ou d'en retirer de l'eau. Derrière ce liquide se trouve un écran en verre dépoli, éclairé par une couronne de 60°.

Au moyen de cet appareil on peut reproduire tous les modes de mouvement de l'atmosphère. En imprimant au vase, et par conséquent au liquide, un mouvement de rotation uniforme (3 à 4 secondes pour un tour), on imite la *rotation* diurne de l'atmosphère. En réchauffant le liquide au moyen de la couronne de dessous, on fait monter l'eau du côté des parois et retomber du côté de l'axe. On reproduit ainsi la *circulation* générale de l'atmosphère : le courant ascendant de l'équateur, le courant descendant polaire et les deux alizés inférieur et supérieur. On peut étudier la figure de ces courants en projetant dans le liquide une goutte d'encre ou bien de la sciure de bois.

Ce qu'il y a de plus intéressant à voir dans l'expérience, c'est la transformation de l'alizé supérieur en alizé inférieur. Les fils d'eau ne retom-

Digitized by Google

bent pas tout simplement au fond, mais forment, à mi-chemin, des séries interminables de spirales, toutes contournées dans le sens de la rotation du liquide, ce qui correspond à la circulation cyclonique de l'air dans les latitudes moyennes.

Pourtant dans tout cela il n'y a pas de trace de mouvement tourbillonnant proprement dit. Il y a plus d'un trait de distinction entre une circulation et un tourbillon. Entre autres, des forces intérieures au liquide, comme c'est la chaleur dans notre cas, suffisent pour y produire une circulation; tandis que pour un tourbillon une force extérieure, indépendante de la masse liquide, est absolument nécessaire. Dans l'appareil, la pompe qui y est rattachée peut jouer le rôle d'une force pareille. On peut donner au courant injecté une direction quelconque, horizontale ou verticale, descendant ou ascendant, et l'expérience montre qu'il se produit un tourbillon chaque fois que l'on injecte de l'eau, avec cette différence que les tourbillons sont de très courte durée si le courant est vertical et qu'il persiste plusieurs minutes si le jet d'eau est horizontal. On peut provoquer des tourbillons au sein du liquide doué de rotation en y faisant passer rapidement une baguette. Le sens de la rotation du tourbillon est toujours celui de la rotation générale du liquide, quelle que soit la direction du jet extérieur.

M. Schwedoff conclut de là que les tourbillons atmosphériques (les tornados, les trombes, etc.) sont provoqués par l'irruption dans les couches inférieures de l'atmosphère des courants supérieurs doués de vitesses relatives énormes.

M. Weiss cherche à établir que, contrairement à l'opinion de M. d'Arsonval, la valeur d'une excitation électrique est déterminée lorsque l'on connaît la relation $I = f(t)$ donnant en fonction du temps la valeur de l'intensité du courant traversant un muscle ou un nerf déterminé. Les variations de potentiel considérées par M. d'Arsonval sont beaucoup trop vagues : il y a beaucoup de cas où le potentiel varie sans qu'il résulte de contraction, tandis que, chaque fois que $I = f(t)$ est le même, on a le même effet, chaque fois qu'il varie des effets différents.

A l'appui de ce fait, M. Weiss décrit un certain nombre d'expériences et montre en projection les courbes qu'il a obtenues.

La formule de l'intensité du courant en fonction du temps dans la charge des condensateurs est $I = \frac{V}{R} e^{-\frac{t}{CR}}$. Si l'on fait varier les divers éléments en maintenant $\frac{V}{R}$ et CR constants, on obtient toujours les mêmes contractions par le courant de charge, car I a varié de la même façon. Si on ne reste pas dans ce cas particulier, on ne peut faire d'expériences concordantes, car au début de la décharge on a une brusque variation du courant qui passe de o à l'intensité $I = \frac{V}{R}$ et pendant ce passage on ne sait ce qui se passe.

Digitized by Google

Pour la même raison on ne peut employer les ondes de fermeture ou de rupture des courants.

L'appareil présenté à la Société, construit par M. Pellin, donne à volonté une onde déterminée d'avance $I = f(t)$. Il consiste essentiellement en un collecteur rectiligne composé d'une série de lames de cuivre de $\frac{1}{2}$ millimètre d'épaisseur environ, séparées par du papier paraffiné; la tranche est parfaitement polie. Ces lames sont reliées à divers points d'un rhéostat de forme spéciale dont les extrémités sont en communication avec un pôle d'une pile et leur point intermédiaire avec l'autre pôle. On a ainsi sur le collecteur une répartition de potentiel quelconque. Un balai monté sur un chariot vient frotter sur le collecteur; à ce balai est reliée une des électrodes dont on veut faire usage; l'autre électrode est fixée à l'extrémité du rhéostat. En mettant les deux électrodes en communication avec un muscle ou un nerf, cet organe est parcouru par un courant dont l'intensité est à chaque instant proportionnelle à la différence de potentiel entre la lame sur laquelle se trouve le balai et l'extrémité du rhéostat, car il n'y a dans le circuit ni capacité ni self-induction appréciable.

Pour obtenir des ondes périodiques, il suffit de donner aux lames de cuivre une disposition rayonnante et de faire tourner le balai frotteur autour d'un axe.

On modifie la durée de l'onde en modifiant la vitesse du balai, et la forme en déplaçant les points d'attache au rhéostat et l'ordonnée maxima par le nombre d'éléments de pile employés.

Cet appareil permet de vérifier d'une façon parfaite que l'excitation des nerfs et des muscles est directement liée à l'intensité, aux variations d'intensité du courant traversant l'organe et d'étudier les diverses formes d'ondes. On pouvait cependant lui faire une objection : la courbe n'est pas absolument continue, elle est en escalier; il est facile de vérifier que ces petites variations n'ont aucune influence, car, en prenant des collecteurs formés de lames d'épaisseur et de nombre variable, on obtient les mêmes résultats.

L'appareil imaginé par M. d'Arsonval ne remplit pas, selon M. Weiss, le but qu'il s'était proposé (voir *Société de Biologie*, 1882; *Annales de Physiologie normale et pathologique*, 1889; *Académie des Sciences*, 1891; *Société d'electrothérapie*, 1891).

M. d'Arsonval dit que l'évaluation de l'excitant électrique comporte deux ordres de conditions : 1° les conditions physiologiques; 2° les conditions physiques. M. d'Arsonval, à cette occasion, rappelle sommairement les expériences fondamentales de MM. Chauveau et Charbonnel-Salle démontrant : 1° que l'excitant électrique agit à la fois comme excitant fonctionnel et surtout comme modification de l'excitabilité; 2° qu'*à intensité égale* les deux pôles n'ont pas la même action, l'excitation dépendant uniquement de la *densité* du courant au pôle négatif; 3° qu'une onde électrique, *même unique*, diminue et supprime même complètement la contraction si le pôle positif est le plus rapproché du muscle; 4° que cette perte d'exci-

Digitized by Google

tabilité est légère pour une intensité faible, complète pour une intensité plus forte et disparaît pour une intensité encore plus forte, en employant une décharge unique comme excitant. C'est le phénomène de la *lacune* connu de tous les physiologistes. Donc l'intensité de l'onde ne peut mesurer son action physiologique. Pour éliminer cette cause d'erreur, il suffit que l'onde d'excitation soit rendue *alternative,* comme l'a montré M. d'Arsonval et comme le prouvent les graphiques pris à son laboratoire il y a dix ans par M. Mendelsohn, graphiques que l'auteur montre à la Société.

Les relations qui existent entre la forme de l'onde et son action physiologique ont pu être étudiées *expérimentalement* pour la première fois en 1882 par M. d'Arsonval, grâce à une méthode qui consiste à tracer la forme de l'onde par le déplacement d'un curseur le long d'une résistance *homogène liquide* parcourue par un courant continu. M. d'Arsonval a intercalé un condensateur ou une bobine d'induction sur le trajet du courant dérivé pour rendre l'onde alternative et limiter la quantité d'électricité qui traverse l'organe excité, conditions physiologiquement essentielles, comme on l'a vu plus haut.

A la suite de cette Communication, M. Gariel fait remarquer que, à son avis, un effet produit par un courant entre deux points d'un circuit dépend uniquement de la différence de potentiel entre ces points et des conditions du circuit également entre ces points, par conséquent dépend de l'intensité du courant. Il ne saurait concevoir comment, même pour des effets physiologiques, les résultats pourraient dépendre des conditions extérieures, si la différence de potentiel est invariable. Il croit que les observations électrothérapiques dépendent de conditions trop variées pour fournir des résultats certains et ne sauraient être opposées à des expériences précises.

M. Gariel ajoute qu'il a vérifié sur lui-même les faits indiqués par M. Weiss. Le courant, passant d'une main à l'autre et produisant une sensation bien déterminée, a toujours correspondu à une même intensité donnée par un ampèremètre (que M. Gariel ne voyait pas), cette intensité étant donnée par des nombres d'éléments variables d'une expérience à l'autre et par une résistance qu'on faisait varier jusqu'à reproduire la sensation caractéristique.

Digitized by Google

SÉANCE DU 3 JUILLET 1891.

PRÉSIDENCE DE M. FRIEDEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 juin est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. MANY, Professeur de Physique à l'École des Ponts et Chaussées, à Bucarest (Roumanie).

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL signale l'envoi des deux Notes suivantes adressées par M. Delaurier : *Observations sur les causes des orages et des trombes dans nos climats. — Observations sur la Note de M. A. Dubois pour un moyen d'apprécier le mouvement vertical des aérostats.*

M. SCHWEDOFF expose une théorie du phénomène de M. Hertz, basée sur l'hypothèse que l'action à distance d'une masse électrique n'est pas instantanée. En supposant une vitesse finie pour la propagation de la force électrostatique, l'auteur détermine, par l'analyse, la distribution dans l'espace des surfaces de niveau et des lignes de force, quand la masse active est en mouvement. En appliquant les formules générales au cas d'une décharge oscillatoire, on retrouve la même distribution des lignes de force que celle déterminée par les expériences de M. Hertz. M. Schwedoff applique aussi sa théorie à l'analyse des ondes qu'un projectile aurait pu engendrer en traversant un essaim de corpuscules, et il montre que les configurations de ces ondes doivent être identiques à celles que nous présentent les queues des comètes. Les déductions théoriques ont été appuyées par des projections convenables.

Sur la transmission du travail au moyen des courants alternatifs, par MM. Maurice HUTIN et Maurice LEBLANC. — Les plus grandes difficultés que présente l'emploi des courants alternatifs, lorsqu'on veut les appliquer à la transmission du travail, tiennent à la présence des phénomènes de self-induction. Ceux-ci sont tout à fait comparables aux phénomènes d'inertie, et, de même qu'on pourrait combattre ces derniers en suspendant le corps auquel on voudrait imprimer un mouvement oscillatoire permanent à une tige élastique convenablement choisie, de même on peut combattre les effets de la self-induction d'un circuit en faisant réagir sur l'électricité qui doit s'y déplacer une sorte de ressort électrique de raideur déterminée. Les condensateurs remplissent naturellement ce rôle.

En intercalant un condensateur dans un circuit, on peut, en faisant varier sa capacité, rendre à volonté le coefficient de self-induction apparent du système positif, nul ou négatif. Les condensateurs permettent ainsi, non seulement de diminuer la résistance apparente des circuits,

Digitized by Google

mais aussi de faire varier à volonté la différence de phases que présentent généralement les variations de l'intensité d'un courant alternatif et celles de la force électromotrice qui détermine le passage du courant.

Cette dernière propriété nous permet, en particulier, de décomposer un courant alternatif quelconque en deux courants d'égales intensités, mais présentant une différence de phases de $\frac{1}{4}$ d'onde. On peut ainsi transmettre, au moyen d'une ligne unique, les courants nécessaires à l'excitation des circuits inducteurs d'une machine à champ tournant.

Les condensateurs nous permettent d'obtenir ce résultat, sans introduire aucune résistance auxiliaire qui serait une cause de mauvais rendement, mais en contribuant, au contraire, à réduire la self-induction du système. En intercalant aussi une capacité dans chacun des circuits induits de la machine, et faisant varier cette capacité en fonction de sa vitesse de rotation, on peut rendre le couple développé sur son axe indépendant de sa vitesse, qu'elle fonctionne comme génératrice ou réceptrice.

Ainsi l'emploi des condensateurs permet d'utiliser les courants alternatifs pour la transmission du travail aussi bien que les courants continus et alors l'avantage est aux courants alternatifs qui peuvent acquérir facilement les plus hautes tensions et sont produits et utilisés par des machines dépourvues de tout commutateur.

M. Leblanc répète devant la Société plusieurs expériences : 1° Sur la résistance à l'étincelle de divers diélectriques qu'il a essayés pour fabriquer ses condensateurs; 2° Sur l'amélioration considérable du rendement d'une bobine de Ruhmkorff par l'emploi de courants inducteurs alternatifs et de condensateurs convenables. Il montre, en outre, qu'un alternateur Gramme peut tourner, grâce aux courants de Foucault, quand on lance le courant alternatif dans le circuit induit fixe, le circuit inducteur mobile étant ouvert.

M. Ed. Branly présente quelques expériences ayant pour objet de démontrer que la déperdition de l'électricité positive par l'action des radiations très réfrangibles peut être comparable à la déperdition négative.

Pour réaliser simplement la démonstration devant un auditoire, il est commode de faire usage d'un électroscope Boudréaux. L'électroscope est chargé soit positivement, soit négativement, par influence; à quelques centimètres au-dessus de la boule de l'électroscope, on fait jaillir entre deux tiges d'aluminium les étincelles de décharge d'une bouteille de Leyde reliée par ses armatures aux deux extrémités du fil induit d'une bobine de Ruhmkoff à interrupteur rapide (une bobine moyenne suffit avec une bouteille de Leyde de 1^{lit}). Entre l'étincelle et la boule est intercalé horizontalement un diaphragme métallique qui préserve l'électroscope des effets d'influence; ce diaphragme est percé, sur la verticale qui descend de l'étincelle à la boule, d'une petite ouverture de quelques millimètres de diamètre. Quand cette ouverture est laissée libre, la chute des feuilles d'or est instantanée au moment de la décharge; la chute n'a plus lieu si l'ou-

Digitized by Google

verture est couverte par une lame de verre ou de mica; la chute est rapide avec une lame de quartz et surtout de sel gemme et de spath fluor.

Les mesures quantitatives se font sur un disque métallique en communication avec la feuille d'or d'un électromètre de Hankel. Le disque est placé verticalement, en face d'une toile métallique parallèle à sa surface ou en face d'une plaque pleine percée d'une petite ouverture qui laisse passer la lumière. Le disque et la toile sont en communication avec les deux pôles d'une pile.

Ces expériences de mesure n'ont été effectuées jusqu'ici qu'avec des différences de potentiel bien inférieures à celles qui correspondent à la charge visible d'un électroscope à feuille d'or. Avec une charge de 50 éléments à sulfate de mercure, le déplacement de la feuille d'or chargée positivement ou négativement était proportionnel à son potentiel.

Lorsque le disque n'était pas éclairé ou lorsque les rayons traversaient une lame de verre ou de mica, la feuille d'or de l'électromètre de Hankel conservait sa déviation. La feuille tombait rapidement lorsque les rayons des étincelles passaient librement ou traversaient des plaques de spath fluor, sel gemme, quartz; elle tombait lentement lorsqu'ils traversaient des plaques d'alun, gypse, spath d'Islande, etc. La course de la feuille sur le micromètre oculaire du microscope qui vise la feuille ayant lieu par exemple de la division 6 à la division 31, on pointait sur un chronomètre, pendant la chute, les instants de passage aux divisions 30, 25, 20, 15, 10; ce qui donnait les temps de déperdition pour des différences de potentiel connues, vu la proportionnalité.

Voici quelques nombres relatifs à la transmission des rayons actifs à travers 3 plaques bien transparentes de $0^m,009$ d'épaisseur : quartz parallèle à l'axe, sel gemme, spath fluor incolore. Le disque éclairé était un disque de cuivre rouge chargé positivement. L'étincelle avait une longueur de $1^{mm},50$.

	Quartz parallèle.		Spath fluor.		Sel gemme.		Quartz parallèle.	
De 30 à 20...	9^s	$17\frac{1}{4}$	$5^s\frac{1}{2}$	$11\frac{1}{2}$	6	12	9	$17\frac{3}{4}$
De 20 à 15...	$8\frac{1}{4}$		6		6		$8\frac{3}{4}$	

Dans cette observation, la transmission des radiations ultra-violettes actives se faisait mieux à travers le sel gemme et le spath fluor incolore qu'à travers le quartz. Cet ordre de transmissibilité relative subsiste quand le disque de cuivre rouge est chargé négativement et quand on lui substitue des disques de zinc et d'aluminium.

Des plaques de quartz, en apparence bien transparentes, accusent des différences très considérables au point de vue de la transmissibilité de ces rayons très réfrangibles; le spath fluor incolore est incomparablement plus transparent que le spath fluor, même faiblement coloré en violet.

Pour un même éclairement, la déperdition, spécialement la déperdition négative, est beaucoup plus rapide quand le métal vient d'être poli (en particulier pour le zinc et l'aluminium), mais elle a encore lieu quand le métal est oxydé, verni, couvert de noir de fumée.

Digitized by Google

D'ailleurs les corps isolants (ébonite, mica, etc.) électrisés et éclairés par la lumière des décharges de condensateur perdent rapidement leur électricité.

Les expérimentateurs qui se sont occupés de la déperdition de l'électricité par la lumière avaient eu recours à la lumière de l'arc voltaïque. Avec cette source, M. Hallwachs avait trouvé que la déperdition de l'électricité positive était très minime; il opérait avec les potentiels assez élevés qui font diverger d'une façon appréciable les feuilles d'or d'un électroscope ordinaire; M. Stoletow, avec des potentiels inférieurs à 200 volts, avait affirmé que la déperdition de l'électricité était rigoureusement unipolaire et que la déperdition positive était nulle. Ces deux assertions n'étaient pas contradictoires puisqu'il s'agissait de charges à des potentiels différents; M. Branly a toutefois repris l'expérience de M. Stoletow avec l'arc voltaïque : un disque de cuivre rouge poli de $0^m,068$ de diamètre était placé à un demi-millimètre de distance d'une toile métallique de cuivre rouge, le disque et la toile étant reliés aux deux pôles d'une pile de cinquante éléments au sulfate de mercure. Le disque était à $0^m,05$ de l'arc voltaïque. Le régulateur étant traversé par un courant de 22 ampères et l'arc étant formé entre des charbons de $0^m,012$ de diamètre, on avait au galvanomètre placé dans le circuit de la pile et du disque une déviation fixe de 124 divisions quand le disque était négatif, 3 divisions seulement si le disque était positif. Avec des charbons à âme d'aluminium et le même courant de 22 ampères, le disque négatif éclairé par l'arc voltaïque donnait un courant dont la déviation fixe était de 1400 divisions; quand le disque éclairé était positif, on avait 24. Le résultat est le même quand la toile métallique est noircie. Le galvanomètre à long fil employé avait un zéro bien fixe et ses indications étaient très sûres. Cette expérience fait voir que l'arc voltaïque est beaucoup plus riche en radiations actives sur la déperdition négative; la lumière des décharges de condensateur, surtout quand on les produit entre des tiges d'aluminium, agit avec intensité sur les deux déperditions.

Sur la distribution dans l'espace de l'énergie d'une masse en mouvement;

Par M. Schwedoff.

1. De toutes les forces de la nature, seule l'attraction universelle est inhérente à la matière et, seule, elle paraît se propager dans l'espace avec une vitesse infinie. Quant aux autres agents de la nature, leur liaison avec la matière est passagère, et l'on observe, en même temps, qu'une certaine durée est toujours nécessaire

Digitized by Google

pour en faire sentir l'action à une distance suffisamment grande. Cette propriété de propagation est bien connue pour le son et la lumière, est admise pour la chaleur rayonnante, est démontrée pour les courants électriques, vient d'être prouvée par les expériences de M. Hertz pour l'induction électromagnétique et doit être soupçonnée pour l'induction électrostatique.

On connaît bien les lois de distribution dans l'espace de l'énergie, quand la masse active reste en repos. Mais que deviennent ces lois lors du mouvement de cette masse? Que deviennent alors les surfaces d'ondes et les surfaces équipotentielles, les rayons et les lignes de force, le potentiel et la force, quand la vitesse de translation du centre actif devient comparable à la vitesse de propagation de l'action dans l'espace?

2. Pour fixer les idées, je m'arrête à une masse électrique e positive ou négative, et je pose en principe que l'action électrostatique d'une masse pareille se propage dans l'espace avec une vitesse finie c. En adoptant le langage figuratif de la Physique moderne, on peut traduire ce principe en ces termes : Si une masse e apparaît à un certain moment dans l'espace, les lignes de force qui en émanent ne surgissent pas instantanément dans toute l'étendue de l'univers, jusqu'à ses extrêmes limites, mais partent de la masse au moment de son apparition, s'allongent graduellement et percent, pour ainsi dire, l'espace avec une vitesse finie, quoique extrêmement grande. Il en est de même des surfaces équipotentielles, lesquelles apparaissent partout, où surgissent les lignes de forces.

Du principe que je viens d'énoncer, il résulte qu'une existence très courte d'une masse e à un point donné engendre dans l'espace une couche très mince de surfaces équipotentielles, laquelle couche se propage dans l'espace avec la vitesse c, à l'instar d'une onde.

En effet, l'action de courte durée d'une masse positive peut être ramenée à la coexistence au même point d'une masse $+e$ pendant un temps $t+dt$ et d'une masse $-e$ pendant le temps t. Or la première action remplie de surfaces équipotentielles positives a le volume d'une sphère de rayon $r_1 = c(t+dt)$, et la deuxième, le volume de rayon $r = ct$. Et puisque ces deux actions se neutrali-

Digitized by Google

sent partout, où elles se superposent, il n'en restera d'efficace que la couche infiniment mince ayant $dr = c\,dt$ pour épaisseur et $r = ct$ pour rayon. Je l'appellerai *couche élémentaire* de surfaces de niveau.

Le potentiel de cette couche est celui des surfaces de niveau qui la constituent. Donc il est

$$V = \frac{e}{r}. \tag{1}$$

La force de cette couche est la force mécanique nécessaire pour maintenir en état d'équilibre une masse unité qui se trouve dans l'épaisseur de la couche. Elle est

$$f = -\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{e}{r^2}. \tag{1a}$$

Le travail nécessaire à la masse unité pour percer l'épaisseur de la couche est

$$-f\,dr = dV. \tag{1b}$$

Si la masse reste en repos un temps indéterminé, tout l'espace devient rempli de couches élémentaires concentriques et de lignes de force rectilignes, supposé que toute la masse est concentrée en un seul point. On retombe dans la méthode usuelle de représenter la distribution dans l'espace de l'énergie électrostatique. Mais la distribution en devient tout autre, si la masse est animée d'une vitesse de translation très grande.

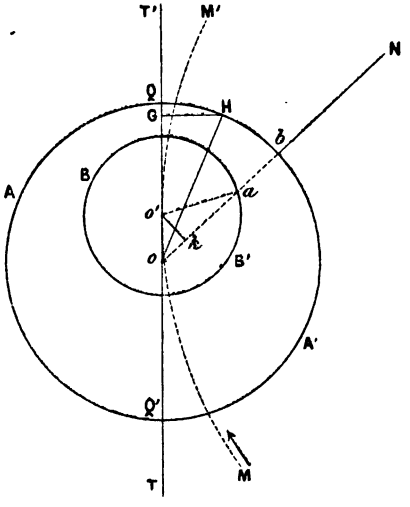
3. Soient (*fig.* 1)

MoM', trajectoire de la masse en mouvement;
oo', un élément de cette trajectoire;
t et $t + dt$, moments de passage de la masse par les points o et o';
v, vitesse de translation de la masse sur cet élément;
c, vitesse de propagation de l'action électrostatique;
AA' et BA', deux surfaces sphériques de niveau, dont les centres sont respectivement en o et o';
$ob = \rho$, rayon de la sphère AA' à un moment t', postérieur à t;
$o'a = \rho'$, rayon de la sphère BB' au même moment t';
$o'k$, perpendiculaire au rayon ob;

Digitized by Google

$Too'T'$, tangente à la trajectoire;
$T'ob = \varphi$ l'angle formé par la normale oN avec oT';
$ab = dN$ l'élément de cette normale compris entre les deux sphères.

Fig. 1.



Remarquons que les longueurs ok, $o'k$, et oo' sont infiniment petites par rapport à ka et $o'a$. Donc, en négligeant les infiniment petits d'ordre supérieur, on peut poser que les longueurs ak et ao' sont égales entre elles et que la droite oN est aussi normale à la sphère BB'. A ces conditions, nous aurons

$$ob = ok + o'a + ab. \tag{2}$$

On a, en outre

$$\left\{\begin{array}{l} ob = \rho = c(t' - t), \\ o'a = \rho' = c[t' - (t + dt)], \\ ab = dN, \\ ok = oo' \cos\varphi = v\, dt \cos\varphi. \end{array}\right. \tag{2a}$$

En substituant (2_a) dans (2), on a

$$dN = (c - v \cos\varphi)\, dt, \tag{3}$$

où dN est l'épaisseur de la couche élémentaire dans la direction oN.

Digitized by Google

Pour le cas de repos, on a $v = 0$, et l'épaisseur devient partout uniforme. En la désignant par dN_0, on a

$$dN_0 = c\,dt.$$

Désignons par ε le rapport

$$\frac{dN_0 - dN}{dN_0},$$

que nous appellerons *contraction de la couche par l'effet de mouvement*. Nous aurons

$$\varepsilon = \frac{v}{c}\cos\varphi. \tag{4}$$

Donc, quand la masse entre en mouvement, les couches de niveau qui l'entourent deviennent contractées du côté où le mouvement est dirigé, et dilatées du côté opposé, et cette déformation est proportionnelle au rapport entre la vitesse de translation et celle de propagation.

4. Appliquons ce résultat au cas d'une oscillation harmonique rectiligne.

Je suppose que la masse électrique oscille entre les positions A et A′ (*fig.* 2), et je prends pour l'origine du temps le moment quand elle passe par la position d'équilibre O. A un moment t, la masse traverse un élément cc' de sa trajectoire et engendre une couche de surfaces de niveau, laquelle couche arrive à la position BB′ à un autre temps t', postérieur à T. Soient

$OA = r_0$ l'amplitude de l'oscillation;
$OC = r$, déviation au moment t;
T, durée d'une oscillation simple;
c, vitesse de propagation de l'action électrostatique;
$CB = \rho$, rayon de la couche;
$BB' = dN$ l'épaisseur de la couche;
v, vitesse de translation au moment t;
$\frac{t}{T} = \alpha$, phase de l'oscillation.

Digitized by Google

On a

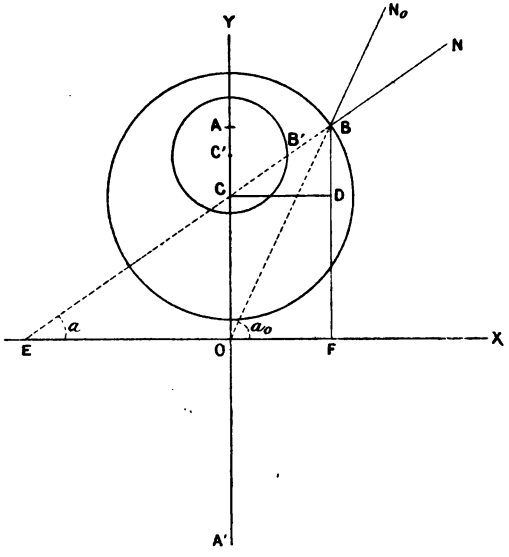
$$(4a) \qquad r = r_0 \sin \pi \frac{t}{T},$$

$$(4b) \qquad v = \frac{\partial r}{\partial t} = \frac{r_0 \pi}{T} \cos \pi \frac{t}{T}.$$

En substituant $(4b)$ dans (4), on a

$$(4c) \qquad \varepsilon = \frac{r_0 \pi}{Tc} \cos \varphi \cos \pi \alpha.$$

Fig. 2.



On voit, par cette formule, que la contraction ε est une fonction périodique de la phase α de l'oscillation. Au point O la phase est zéro, ε est au maximum, et c'est de là que part la couche la plus contractée du côté antérieur et dilatée du côté postérieur. Quand la masse arrive au point A, sa phase est égale à $\frac{1}{2}$; $\cos \pi\alpha$ et, par conséquent, ε deviennent égaux à zéro. La couche de surfaces de niveau, formée à ce moment, n'éprouve aucune déformation d'épaisseur. Enfin, quand la masse rebrousse chemin et revient à sa position initiale O, la phase est égale à l'unité. Le cosinus de l'angle $\pi\alpha$ devient négatif, c'est-à-dire que la couche, partant du

Digitized by Google

point O, devient cette fois contractée là où elle était d'abord dilatée, et *vice versa*.

Ainsi, à mesure que les oscillations se suivent, l'espace se remplit de couches consécutives contractées ou dilatées. Or, cette contraction ou cette dilatation ne sont autre chose qu'une condensation ou une raréfaction des surfaces de niveau, dont chaque couche est formée. Il en résulte cette conséquence :

Si l'on fait osciller rapidement une masse électrique, les surfaces de niveau qui l'entourent forment dans l'espace des zones périodiquement comprimées et dilatées. Ces zones se suivent et se propagent à l'instar des ondes dans un milieu élastique.

C'est pour cette raison qu'on peut considérer une couche de surfaces de niveau comme une *onde électrique*.

Les cercles de la *fig.* 3 représentent la distribution rigoureuse des surfaces de niveau pour le cas de $v = 0{,}9\,c$ et pour le moment où la masse a effectué une oscillation en partant de A et en arrivant à A'. On y observe que la masse a produit, par son déplacement, une condensation des surfaces de niveau en avant et une raréfaction en arrière, comme le ferait un ressort dans un fluide élastique.

5. Passons à la distribution des lignes de force. Nous observons qu'une ligne de force doit être orthogonale à toutes les surfaces de niveau qu'elle coupe. Soit B (*fig.* 2) un point de la surface de niveau, dont le centre est en C. La droite EN passant par les points C et B représente la direction de la ligne de force au point B. Prenons OY et OX pour les axes des coordonnées rectangulaires et désignons par y et x les coordonnées BF et OF du point B, et par a l'angle NEO que fait la normale avec l'axe des abscisses. Si la droite CD est perpendiculaire à BF, on aura

$$\operatorname{tang} a = \mathrm{BD} : \mathrm{CD},$$

ou bien

$$\operatorname{tang} a = \frac{y - r}{x}.$$

En vertu de l'équation (4_a), on aura

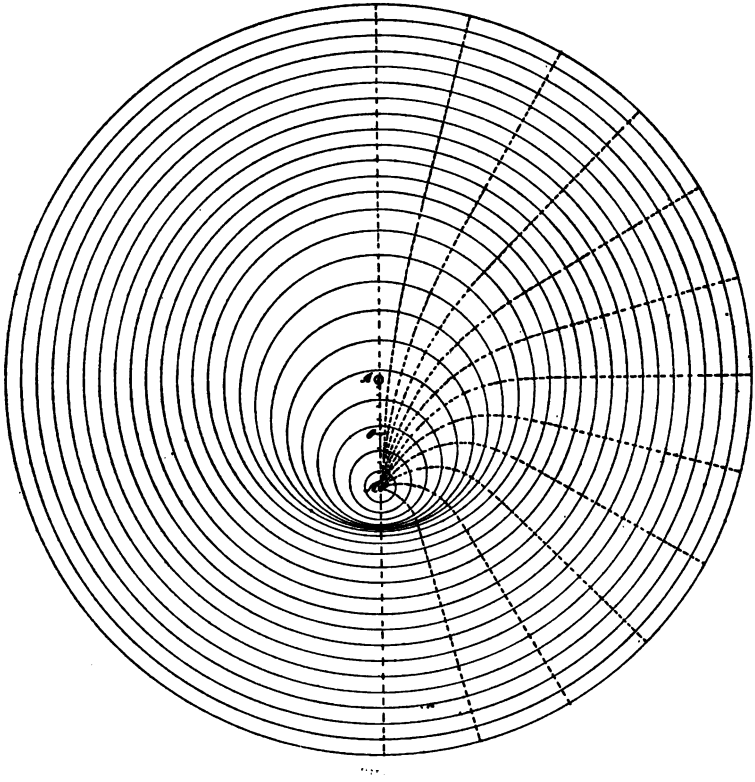
$$(4_d) \qquad \operatorname{tang} a = \frac{y}{x} - \frac{r_0}{x} \sin \pi\alpha.$$

Digitized by Google

Menons la droite ON_0 par les points O et B, et désignons par a_0 l'angle qu'elle forme avec OX.

Il est évident que cette droite représente la direction d'une

Fig. 3.



ligne de force pour le cas où la masse électrique reste en repos au point O. On a, en outre,

$$(4_e) \qquad \operatorname{tang} a_0 = \frac{y}{x}.$$

En substituant (4_e) dans (4_d), on aura définitivement

$$(5) \qquad \operatorname{tang} a = \operatorname{tang} a_0 - \frac{r_0}{x} \sin \pi \alpha.$$

La partie droite de cette équation renferme un terme constant

Digitized by Google

pour tous les points de la droite OX_0 et un terme périodique qui dépend de la position du centre C. Ce dernier terme varie entre les limites $+\frac{r_0}{x}$ et $-\frac{r_0}{x}$ quand la phase α varie entre o et ∞. Et, puisque $\tang a$ et $\tang a_0$ déterminent respectivement les directions des droites ON et ON_0, dont la première représente la direction de la ligne de force au point B, il en résulte cette conséquence :

Si l'on s'avance, à partir du point O, dans une direction quelconque ON_0, on trouve pour les lignes de forces, partant de la masse en oscillation, des directions qui oscillent de part et d'autre de la droite ON_0, laquelle droite représente la direction d'une ligne de force à l'état de repos de la masse. Les lignes de force deviennent sinueuses, comme le seraient des verges élastiques attachées à une masse ébranlée d'un mouvement d'oscillation.

Les courbes pointillées de la *fig.* 3 représentent les lignes de force au bout d'une oscillation. Si l'on voulait construire une figure pareille pour un certain nombre d'oscillations, on aurait obtenu un faisceau divergent de courbes en général sinueuses.

6. La théorie que je viens d'exposer offre un intérêt particulier par son rapport aux ingénieuses expériences de M. Hertz sur la décharge oscillante des masses électriques.

Supposons que nous ayons un conducteur AA′ (*fig.* 4) coupé en deux au point O et traversé longitudinalement par deux masses $+1$ et -1, oscillantes en sens inverse. Il s'agit de déterminer l'effet de ces masses sur l'espace environnant.

Prenons pour l'origine du temps et du phénomène le moment où les deux masses $+1$ et -1 se trouvent respectivement en A et A′. Désignons par τ et τ' les moments où ces deux masses se trouvaient respectivement dans certaines positions q et q', et par t le moment de l'observation du phénomène. L'onde électrique, partie de q au moment τ, forme au moment t une sphère QB de rayon qB. On a

$$(5_a) \qquad qB = \rho = c(t - \tau).$$

Pareillement, on a, pour le rayon de l'onde BQ′ partie de q' au

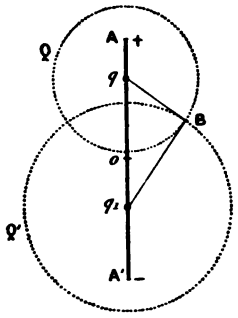
Digitized by Google

moment τ',

$$(5_b) \qquad q'B = \rho' = c(t - \tau').$$

Les conditions géométriques étant symétriques autour de l'axe AA', nous pouvons limiter l'analyse au plan de la figure. Au

Fig. 4.



point B, où les deux sphères se coupent, le potentiel est la somme des potentiels des deux masses $+1$ et -1. En désignant par U cette somme, on a, pour une surface de niveau, la condition

$$(5_c) \qquad \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho'} = U = \text{const.}$$

Posons $t = T$. Cela revient à dire que nous arrêtons le phénomène au bout d'une oscillation simple. En substituant dans (5_a), (5_b), (5_c) cette valeur de t, et en posant

$$(5_d) \qquad 1 - \frac{\tau}{T} = \alpha, \qquad 1 - \frac{\tau'}{T} = \alpha', \qquad UcT = U_1,$$

où U_1 est aussi une constante, on aura

$$(5_e) \qquad \rho = cT\alpha, \qquad \rho' = cT\alpha', \qquad \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\alpha'} = U_1.$$

De l'autre côté, les déviations des deux masses aux moments τ et τ' sont respectivement

$$(5_f) \qquad Oq = r = r_0 \cos\pi\frac{\tau}{T}, \qquad Oq' = r' = r_0 \cos\pi\frac{\tau'}{T}.$$

Digitized by Google

En désignant par β la vitesse des masses au point O, on a

$$(5_g) \qquad \beta = \pi \frac{r_0}{T}, \qquad \frac{\beta}{c} = \pi \frac{r_0}{cT}.$$

En substituant dans (5_e) la valeur de cT tirée de (5_g), et dans l'équation (5_f) les valeurs de $\frac{\tau}{T}$, $\frac{\tau'}{T}$, tirées de (5_d), on aura définitivement

$$(6) \qquad \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\alpha'} = U_1,$$

$$(7) \qquad \begin{cases} r = -r_0 \cos \pi\alpha, \\ r' = -r_0 \cos \pi\alpha', \end{cases}$$

$$(8) \qquad \begin{cases} \rho = \pi r_0 \frac{c}{\beta} \alpha, \\ \rho' = \pi r_0 \frac{c}{\beta} \alpha'. \end{cases}$$

Remarquons que r positif est dirigé en haut et que c'est le contraire pour r'.

Les équations (6), (7), (8) déterminent la distribution des surfaces de niveau et des lignes de force.

U_1 est une constante arbitraire qui détermine la valeur numérique du potentiel d'une surface de niveau.

α et α' sont, par leur nature, des fractions enfermées dans les limites o et $+1$. L'une d'elles est une variable indépendante, l'autre est déterminée par la relation (6).

r_0 et $\frac{c}{\beta}$ sont déterminés par les conditions de l'expérience.

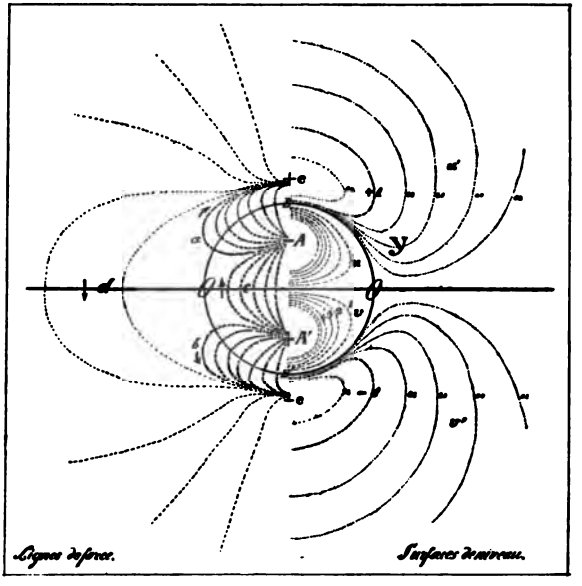
Quand on connaît toutes ces quantités, on substitue les valeurs dans (7) et (8) et l'on obtient la position des centres et la longueur des rayons des deux sphères, dont l'intersection B appartient à une surface de niveau. En réunissant par une courbe continue une série de points pareils, trouvés pour la même valeur de U_1 et pour différentes valeurs de α et α', on obtient la section d'une surface de niveau par le plan de la figure. La surface elle-même est engendrée par la rotation de la courbe autour de l'axe AA'. Les lignes de force sont des courbes orthogonales à une famille de surfaces de niveau.

Les courbes de la *fig.* 5 sont tracées d'après ce procédé. Seu-

Digitized by Google

lement, pour éviter une confusion dans le dessin, le côté droit est réservé exclusivement aux surfaces de niveau, et le côté gauche aux lignes de forces. La figure a été tracée dans la supposition que les deux masses ont effectué une seule oscillation simple et que le rapport $\frac{\beta}{c}$ est égal à 0,9.

Fig. 5.



En examinant le côté droit de la figure, on y aperçoit d'abord une droite horizontale et un cercle qui se coupent aux points O et O. Ce sont les surfaces à potentiel *zéro*. Ces deux surfaces partagent tout l'espace en quatre régions, dont u' et v sont à potentiel positif, u et v' à potentiel négatif. Les nombres placés à côté des courbes représentent les valeurs respectives de la constante U_1. Les points $+A$ et $-A$ sont les positions des pôles au bout d'une oscillation simple. A l'origine la disposition de ces pôles était inverse.

Dans la région u' on trouve la courbe $+1$. C'est celle où $U_1 = 1$. En dehors de cette courbe, le potentiel diminue progressivement, et la figure des surfaces de niveau se rapproche de ce qu'elle était à l'état de repos des masses. En dedans de la courbe $+1$, le

Digitized by Google

potentiel augmente faiblement, sans dépasser la valeur 1,4 à la zone désignée par $+e$. Dans sa pleine vigueur, l'effet de l'oscillation ne se fait sentir qu'à l'intérieur de la sphère OO. Il s'y est formé, en haut et en bas, deux groupes de surfaces de niveau de signe contraire. Ces surfaces sont très condensées et le potentiel en augmente rapidement jusqu'aux pôles, où il devient infini.

Conformément à cette distribution de l'énergie potentielle, particulière au phénomène d'oscillation, il se forme autour du conducteur quatre groupes de lignes de force *a*, *b*, *c*, *d* (côté gauche de la figure).

L'intensité de ces groupes est d'autant plus grande que les courbes de potentiel sont plus condensées, et que la valeur de la constante U_1 est plus considérable. Pour cette raison, l'intensité de force du groupe *d* est très petite. Ce sont les forces électrostatiques à l'état de repos. L'intensité est incomparablement plus grande pour les groupes *a*, *c*, *b*, surtout pour celui du milieu, et c'est ce groupe, dont l'action excitatrice prédomine. Remarquons que la force de ce groupe est dirigée de bas en haut, c'est-à-dire qu'elle est inverse par rapport au courant de décharge. Je pourrais exprimer ce fait en disant qu'une décharge électrique *induit* dans l'espace environnant une force électromotrice de signe contraire, si ce terme n'impliquait pas l'idée d'une induction électromagnétique dont, pour le moment, je ne fais aucune mention.

A la suite de cette première oscillation, il y en aura d'autres. Les forces *a*, *c*, *b* de la *fig.* 5 seront remplacées, à la deuxième oscillation, par d'autres, dirigées de bas en haut. Quant aux groupes *a*, *c*, *b* eux-mêmes, ils s'en iront dans l'espace, déplacés par les groupes d'origine plus récente, et en déplaçant, à leur tour, les surfaces du groupe *d*. L'essentiel du phénomène est qu'il y aura toujours dans l'espace trois groupes distincts pareils à *a*, *c*, *b*, et remplacés périodiquement par d'autres groupes de signe contraire. Donc, si l'on expose à l'action de cette espèce d'*ondes électriques* un conducteur coupé au milieu, il en jaillira autant d'étincelles qu'il y aura d'oscillations dans le conducteur principal.

Encore un détail : la *fig.* 5, dont les courbes ont été tracées pour $t = T$, représente l'état du champ électrique au bout d'une oscillation simple, et ce caractère de distribution de force se con-

Digitized by Google

serve pour un nombre quelconque *entier* d'oscillations. Notamment, dans le voisinage de l'axe AA′, la force est approximativement parallèle à l'axe. Dans la proximité de l'équateur OO, la force est perpendiculaire à celui-ci et, par conséquent, toujours parallèle à l'axe. Dans la région entre l'axe et l'équateur, les lignes de force convergent vers les points A et A′. Mais, si l'on construit les courbes pour un nombre impair de demi-oscillations, on s'aperçoit du changement dans leur caractère. Tout en restant à peu près parallèles à l'axe dans les régions équatoriale et axiale, ces courbes convergent non plus vers A et A′, mais bien vers le centre du cercle OO, lequel, à cette phase d'oscillation, renferme les deux pôles réunis. Il en résulte que la direction de force varie, à chaque demi-oscillation, dans la région entre l'équateur et les pôles, et qu'elle reste toujours à peu près parallèle à l'axe partout ailleurs. Donc, si l'on expose un conducteur secondaire à l'action d'une décharge oscillante, on aura toujours une étincelle, quelle que soit la direction de ce conducteur, pourvu que ce conducteur soit placé dans une certaine région entre l'axe et l'équateur. Par contre, on peut arriver à n'obtenir aucune étincelle dans le conducteur secondaire, si celui-ci se trouve près de l'axe ou de l'équateur, et si la direction en est perpendiculaire à celle de la force.

Tels sont, selon cette théorie, les traits généraux des ondes électriques, découvertes par M. Hertz [1].

7. Pour compléter les bases de la théorie que j'expose, il ne me reste qu'à déterminer l'intensité de la force d'une couche élémentaire de surfaces de niveau.

Revenons à la *fig.* 1. Nous y voyons deux surfaces de niveau, AA′ et BB′, qui limitent l'épaisseur de la couche. Les rayons en sont respectivement ρ et ρ' et les potentiels $\frac{1}{\rho}$ et $\frac{1}{\rho'}$. Supposons qu'une masse $+1$ pénètre dans l'intérieur de cette couche sous l'action d'une force f et suivant la direction de la normale N. Le

---

[1] Pour contrôler cette conclusion, on peut comparer l'article de M. Hertz : *Ueber die Einwirkung, etc.* (*Wiedemann's Annalen,* t. XXXIV; 1888). Je trouve utile de faire observer ici que M. Hertz avait essayé de rendre compte du phénomène en partant des idées de Maxwell, sans arriver, paraît-il, à un accord parfait entre la théorie et l'expérience (*ibid.*, t. XXXVI, S. 1; 1889).

Digitized by Google

travail effectué par cette force sera, selon l'équation (1_b),

$$(8_a) \qquad f\,dN = \frac{1}{\rho'} - \frac{1}{\rho}.$$

On tire des équations (2_a)

$$(8_b) \qquad \frac{1}{\rho'} - \frac{1}{\rho} = \frac{dt}{c(t'-t)^2}.$$

En vertu de l'équation (3), on a

$$(8_c) \qquad dN = c\left(1 - \frac{v}{c}\cos\varphi\right)dt.$$

En substituant (8_b) et (8_c) dans (8_a) et en remarquant que $\rho = c(t'-t)$, on aura définitivement

$$(9) \qquad f = \frac{1}{\rho^2}\,\frac{1}{1 - \frac{v}{c}\cos\varphi}.$$

Cette formule nous indique que l'intensité de la force f n'est inversement proportionnelle au carré de distance que dans le cas de repos parfait d'une masse. Dans tous les autres cas f dépend de la vitesse de translation de la masse active et de la position relative de la masse passive. Cette position est déterminée par l'angle φ aussi bien que par la distance ρ.

Un cas mérite une attention particulière, c'est celui où la vitesse de translation est égale à celle de propagation. On a alors

$$v = c$$

et, par conséquent

$$f = \frac{1}{\rho^2}\,\frac{1}{1 - \cos\varphi},$$

ou bien

$$f = \frac{1}{2}\,\frac{1}{\left(\rho \sin\frac{\varphi}{2}\right)^2}.$$

Soit OH la bissectrice de l'angle φ et HG perpendiculaire à la tangente TT'. En désignant la longueur HG par a et en remarquant que OH $= \rho$, on a

$$a = \rho \sin\frac{\varphi}{2},$$

Digitized by Google

par conséquent

$$f = \frac{1}{2}\frac{1}{a^2}. \tag{10}$$

Cette formule nous montre que la force f peut devenir infiniment grande, lorsque la longueur a est infiniment petite, c'est-à-dire quand la masse passive se trouve sur la tangente à la trajectoire. Sans nous arrêter aux infiniment grands, qui n'existent pas dans la nature, on peut interpréter cette conséquence dans les termes suivants :

Quand l'action d'une masse se propage avec la vitesse de translation de la masse même, cette action *peut devenir perceptible dans le voisinage de la tangente*, alors même qu'elle reste partout ailleurs inaccessible à l'observation à cause de sa faiblesse.

Cette petite partie de la couche sphérique qui entoure le point Q et devient perceptible mérite une désignation spéciale. Je l'appellerai *onde élémentaire* et je donnerai le nom de *front* de l'onde élémentaire au point Q, situé sur la tangente à la trajectoire.

Rigoureusement, une onde élémentaire est une très petite partie d'une sphère; approximativement, elle peut être considérée comme un disque, perpendiculaire à la tangente TT′, dont le centre se trouve sur la même tangente et dont le rayon est égal à $2a$. L'intensité de la force dans les limites de ce disque varie, selon l'équation (10), en raison inverse du carré du rayon $2a$. La distance de ce disque à la masse en mouvement est déterminée par la condition

$$\rho = c\ \ t' - t)$$

ou bien

$$\rho = v(t' - t). \tag{11}$$

On voit par là que l'onde élémentaire est une conception strictement géométrique, dont tous les éléments sont indiqués, du moment que l'on connaît les éléments du mouvement de la masse active.

8. Quoique je n'aie parlé, dans ce qui précède, que de l'action électrostatique, les conséquences de la théorie s'appliquent également à toutes les forces et à toutes les actions dont la

Digitized by Google

vitesse de propagation est finie. Il n'y a qu'à changer les termes des définitions, si l'on veut passer à une autre espèce d'action. Ainsi, pour la lumière, les surfaces de niveau doivent être remplacées par les surfaces d'onde, l'épaisseur de la couche de surfaces équipotentielles par la longueur d'onde. Par exemple, on peut appliquer la formule (4) aux ondes lumineuses, et l'on arrive à cette conséquence que la longueur d'onde dépend de la vitesse de translation du point lumineux et de la position relative du point passif, lequel, cette fois, devient le point d'observation. Cela est connu et porte le nom de phénomène *Doppler-Fizeau*.

Mais voici une conclusion qui, paraît-il, n'a pas encore été vérifiée par l'observation. D'après la formule (9), l'intensité d'une source lumineuse, ou bien sonore, doit aussi être modifiée par le mouvement de la source. Elle doit être plus grande pour une source qui se rapproche que pour celle qui s'éloigne de nous.

Pour conclure, je ferai mention d'une application que j'ai faite de cette théorie, il y a onze ans, aux queues des comètes [1]. Il résulte de mes recherches sur ces étranges apparitions célestes qu'une queue de comète offre à nous les mêmes apparences qu'auraient eues des ondes élémentaires engendrées par le noyau de comète dans un milieu matériel extrêmement raréfié.

SÉANCE DU 17 JUILLET 1891.

PRÉSIDENCE DE M. FRIEDEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 3 juillet est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. DE METZ (Georges), Privat-docent à l'Université d'Odessa (Russie).
HUTIN (Maurice), Ingénieur des Ponts et Chaussées à Paris.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL annonce que M. le Dr *Guébhard* vient d'offrir à la Bibliothèque de la Société le *Journal de Physique, de Chimie et*

---

[1] *Théorie mathématique des formes cométaires.* Odessa, 1880.

Digitized by Google

d'Histoire naturelle publié par l'abbé Rozier et J.-C. Lamétherie, années 1773 à 1818; 45 volumes in-4°.

M. Massin expose les résultats de mesures de capacité et de self-induction, effectuées sur des conducteurs aériens télégraphiques et téléphoniques. M. Massin a opéré : 1° sur des fils de fer de 3^{mm} placés à $4^{m},50$ du sol et distants entre eux de $0^{m},40$; de 18^{km} et 50^{km}; 2° sur des fils de cuivre de 2,5 placés à $5^{m},50$ du sol et à $0^{m},50$ l'un de l'autre.

Les chiffres trouvés sont les suivants : pour les fils de fer $0^{microf},0098$ pour la capacité par rapport au sol; $0^{\varphi},0070$ pour la capacité qui intervient lorsque l'on correspond non plus par un seul fil, mais par un circuit métallique constitué par deux fils parallèles et continus.

Pour les fils de cuivre, les chiffres sont de : $0^{\varphi},0092$, $0^{\varphi},0065$.

Dans le cas de lignes souterraines, la capacité du circuit est la moitié de celle d'un des fils par rapport à la terre; dans le cas de fils aériens, elle est les $\frac{7}{10}$.

La théorie donne 0,0067 et non 0,0098 pour la capacité d'un fil par rapport au sol, mais elle ne tient pas compte ni de la présence des fils voisins, qui sont à la terre à leurs extrémités, ni de celle des poteaux et isolateurs.

La self-induction d'un circuit avec fil de retour parallèle et contigu a été trouvée de : $0^{quad},0125$ par kilomètre pour les fils de fer, et $0^{q},0025$ pour les fils de cuivre.

La théorie donnerait pour les fils de cuivre une valeur de $0^{q},0022$.

La perméabilité du fer qui constitue les fils étant inconnue, il n'est pas possible de faire une vérification du chiffre trouvé pour les fils de fer; mais si, partant de la vérification faite sur les fils de cuivre, on admet le chiffre donné comme exact, on peut en déduire la perméabilité du fer employé, laquelle serait de 100 environ.

La présence des courants telluriques qui circulent sur les fils n'a pas permis de mesurer la self-induction d'un fil mis à la terre à son extrémité. Cette mesure fait l'objet de nouvelles expériences, qui ne sont pas terminées.

Les moteurs à courants alternatifs, par M. E. Hospitalier. — Les distributions d'énergie électrique par courants alternatifs sont comparables en nombre et en puissance, du moins en Amérique, aux distributions analogues par courant continu, mais elles seraient beaucoup plus nombreuses si l'on savait convenablement utiliser l'énergie électrique distribuée sous forme alternative aux opérations électrochimiques dans lesquelles intervient l'électrolyse, si l'on pouvait emmagasiner cette énergie électrique fournie par ces courants, et enfin si l'on savait convertir facilement cette énergie électrique en travail mécanique. Pour toutes ces applications, le moteur à courant continu est resté, jusqu'ici, supérieur au courant alternatif. Mais les inconvénients que nous venons de signaler sont largement rachetés par un grand nombre d'avantages : simplicité de construction et

Digitized by Google

économie des machines à courants alternatifs ou alternateurs; production facile, directe ou par transformation, des forces électromotrices les plus élevées, alors qu'il est difficile de dépasser 3000 volts avec les courants continus; simplicité et facilité d'isolement; enfin, facilité et simplicité de transformation, à l'aide d'appareils inertes, ne comportant aucune pièce mobile, d'un rendement très élevé, atteignant 95 pour 100.

Si l'utilisation des courants alternatifs aux opérations électrochimiques et à l'emmagasinement de l'énergie électrique qu'ils transportent sont des problèmes à peine ébauchés, dont les solutions partielles restent encore dans le domaine de l'expérience, il n'en est pas de même des moteurs à courants alternatifs : les principes appliqués et les types fondés sur le même principe sont déjà si nombreux qu'ils comportent une classification résumée dans le Tableau ci-dessous.

A. — MOTEURS A CHAMP CONSTANT OU MOTEURS SYNCHRONES.

EXCITATION SÉPARÉE	*Aimants.* — Magnéto-alternateurs. *Électro-aimants.* — Dynamo-alternateurs.
AUTO-EXCITATION.....	*Courant redressé.* — Zipernowsky.

B. — MOTEURS A CHAMP ALTERNATIF.

Dynamo-série. — Moteurs à courant continu à inducteurs feuilletés.
Dynamo-shunt. — Moteurs à courant continu à inducteurs feuilletés.
Moteurs électrodynamiques. — Compteur E. Thomson.
Champ partiellement redressé. — Mordey.
Induit fermé. — E. Thomson.

C. — MOTEURS A CHAMP TOURNANT.

ALTERNATEURS ORDINAIRES OU A UN SEUL CIRCUIT .	Ferraris. Tesla. Schallenberger. Hutin et Leblanc.	
ALTERNATEURS A PHASES MULTIPLES OU A COURANTS POLYPHASÉS.....	*Trois fils et deux courants.*	Ferraris. Tesla. Borel.
	Trois fils et trois courants.	Dolivo-Dobrowolsky et Brown. Haselwander. Bradley. Wenström.

Un moteur alternatif ne diffère pas essentiellement, en principe général, d'un moteur à courant continu : on y trouve toujours les deux mêmes parties essentielles, un champ magnétique ou *inducteur,* et un système induit tournant l'un par rapport à l'autre; mais, tandis que le champ magnétique des moteurs à courant continu est toujours *constant*, celui des moteurs à courants alternatifs est, suivant les cas, *constant, alternatif* ou *tournant.*

Digitized by Google

A. Moteurs a champ constant. — Ce genre de moteur, le plus anciennement expérimenté, est fondé sur le principe de la réversibilité des alternateurs. Le courant alternatif est envoyé dans une série de bobines induites se mouvant dans un champ magnétique constant produit par un aimant ou un électro-aimant. Le plus simple est constitué par une bobine de Siemens double T tournant entre les branches d'un aimant, ou d'un électro-aimant excité par une source étrangère : si l'on a préalablement lancé l'induit à une vitesse angulaire correspondant à la fréquence du courant alternatif fourni par l'alternateur (50 tours par seconde, par exemple, si la fréquence du courant alternatif est de 50), le mouvement de la bobine induite se continuera synchroniquement et suivra toutes les variations de vitesse de l'alternateur à moins que l'on ne vienne appliquer brusquement sur l'axe un couple résistant dépassant une certaine valeur : le synchronisme cesse et le moteur s'arrête en un temps généralement très court. La théorie de ces moteurs a été développée en 1884 par M. le Dr Hopkinson. La nécessité d'amener initialement le synchronisme et d'exciter les inducteurs par une source étrangère dans le cas de grandes puissances, et l'obligation de marcher à vitesse angulaire rigoureusement constante ont empêché ces moteurs de recevoir de nombreuses applications industrielles. M. Zipernowsky a fait disparaître deux des plus graves inconvénients propres à ces moteurs en les rendant auto-excitateurs, l'excitation étant empruntée à une dérivation dans laquelle est intercalé un redresseur de courants; le moteur se met automatiquement en marche pourvu qu'on supprime la charge et que le démarrage se fasse à vide; il atteint rapidement sa vitesse angulaire de régime, qu'il maintient ensuite parfaitement, malgré les variations brusques dans le couple résistant.

Le rendement de ces moteurs est des plus satisfaisants, car il atteint 80 pour 100 pour un moteur de 4 kilowatts. Malgré, ou, plus exactement, à cause du synchronisme nécessaire au fonctionnement de ces moteurs, il en a été fait un certain nombre d'applications à des transports de force motrice à distance.

B. Moteurs a champ alternatif. — Toute dynamo à courants continus alimentée par des courants alternatifs peut se mettre en marche et tourner en produisant une puissance mécanique appréciable, car elle est comparable à un électrodynamomètre dont le couple de torsion reste toujours de même signe malgré les inversions de sens du courant. Mais un moteur ainsi constitué présente de nombreux et graves inconvénients : les inversions rapides du courant développent dans les noyaux des inducteurs des courants de Foucault qui réduisent considérablement le rendement du moteur si l'on n'a pas pris la précaution de feuilleter ces inducteurs; le grand coefficient de self-induction des circuits du moteur réduit l'intensité efficace, et, par suite, la puissance spécifique d'un moteur de dimensions données.

Pour ces raisons, les moteurs de ce genre sont peu employés, si ce n'est

Digitized by Google

pour la production de faibles puissances; nous signalerons, par exemple, les moteurs qui actionnent des petits ventilateurs domestiques dépensant 1 à 2 ampères sous une différence de potentiel efficace de 50 volts, appareils très employés actuellement en Amérique. L'excitation de ces moteurs est tantôt disposée en shunt, tantôt en série. En supprimant le fer dans les inducteurs et les induits, on peut également réaliser un moteur électrodynamique de faible puissance spécifique, mais dont le couple moteur est, à chaque instant, proportionnel au produit des intensités des courants qui traversent respectivement les inducteurs et l'induit. Le moteur du compteur d'énergie électrique du professeur Elihu Thomson est le type des moteurs électrodynamiques.

Pour éviter les pertes par courants de Foucault et par hystérésis provenant des inversions rapides d'aimantation dans les inducteurs des moteurs à champ alternatif, M. Mordey a proposé de faire passer le courant alternatif par un redresseur monté sur l'axe même du moteur. Au moment de la mise en marche, l'action de ce redresseur est nulle, mais, au fur et à mesure de l'accroissement de vitesse angulaire, le courant traversant le moteur se trouve de plus en plus redressé, c'est-à-dire que la fréquence des inversions diminue, ce qui réduit d'autant les pertes causées par ces inversions et améliore le rendement.

C'est aussi dans la classe des moteurs à champ alternatif qu'il convient de placer les moteurs à induit fermé. Les expériences de répulsions électrodynamiques du professeur Elihu Thomson ont montré qu'un circuit fermé placé dans un champ alternatif tend à se déplacer de façon à rendre son coefficient d'induction mutuelle minimum, c'est-à-dire de façon à rendre minimum le flux de force qui le traverse. Si l'on place dans ce champ alternatif une série de bobines élémentaires mobiles autour d'un axe commun, et qu'un système de balais convenablement disposé ferme chacune des bobines en court circuit au moment où le flux qui la traverse est maximum, et l'ouvre au moment où le flux devient nul, pour la laisser en circuit ouvert jusqu'au moment où le flux redeviendra maximum, chacune de ces bobines sera soumise à une force, et par suite produira un couple moteur que la multiplicité des bobines rend sensiblement constant. Dans ce moteur, il n'y a aucune connexion entre le circuit inducteur et le système induit. Le circuit inducteur est métalliquement fermé sur les fils venant du générateur, le circuit induit est fermé sur lui-même. L'expérience est facilement réalisable avec une petite machine Gramme ou Rechniewsky à deux pôles, en ayant soin de décaler les balais de 45° environ dans le sens de la rotation. Les moteurs à champ alternatif sont peu employés, et il n'a pas été publié jusqu'ici d'expériences indiquant leur rendement.

C. Moteurs a champ tournant. — M. Ferraris a indiqué pour la première fois, en mars 1888, le principe des moteurs à courants alternatifs, moteurs dont le développement actuel fait prévoir à bref délai une véri-

Digitized by Google

table révolution aussi bien dans le transport des grandes forces motrices à de grandes distances que dans la distribution de l'énergie électrique pour moteurs de faible puissance. Voici d'abord le principe établi par M. Ferraris : Lorsque deux courants alternatifs de même période, mais décalés l'un par rapport à l'autre d'un quart de période, traversent deux circuits disposés rectangulairement, la résultante de chacun des deux champs magnétiques que produirait chaque circuit s'il était seul est un champ magnétique tournant d'intensité constante et de vitesse angulaire uniforme, faisant un tour complet pendant la durée d'une période. Si l'on place dans ce champ tournant un circuit fermé sur lui-même, il sera le siège de courants induits, et ces courants induits tendront à faire tourner le circuit induit dans le sens même de la rotation du champ. Sauf le mode de production du champ tournant, la rotation ainsi obtenue est identique à celle de l'expérience classique connue sous le nom de *magnétisme de rotation* d'Arago.

On peut aussi dire, avec plus d'exactitude, que le moteur à champ tournant fonctionne en vertu des courants de Foucault dont il est le siège. Ces courants de Foucault seraient nuls si le circuit était immobile dans le champ, c'est-à-dire si le circuit tournait à la même vitesse angulaire que le champ, et c'est pour satisfaire à cette condition d'immobilité relative que le circuit tourne dans le champ, et dans le même sens que lui : le circuit *suit* le champ.

Bien que d'invention relativement récente, les moteurs à champ tournant sont déjà très variés comme principes et comme dispositions. Ils se distinguent principalement par le mode de production du champ tournant, et par le générateur qui alimente le moteur. Nous examinerons successivement les moteurs à courants alternatifs ordinaires, et les moteurs alimentés par des alternateurs à phases multiples produisant des courants *polyphasés*.

a. Alternateurs ordinaires. — Plusieurs procédés permettent d'obtenir, avec un courant alternatif ordinaire, deux courants alternatifs décalés d'un quart de période et capables, par suite, de produire un champ tournant.

M. Ferraris a proposé d'employer deux circuits alimentés, le premier directement par l'alternateur, le second par le circuit secondaire d'un transformateur dont le circuit primaire est monté en dérivation sur l'alternateur. M. Tesla a proposé et employé deux circuits en dérivation présentant des constantes de temps très différentes. M. Schallenberger dispose un circuit induit fermé sur lui-même et placé obliquement par rapport au circuit primaire alimenté par l'alternateur. Les réactions du circuit principal et du circuit induit produisent un champ tournant. Dans le moteur de MM. Hutin et Leblanc présenté à notre dernière séance, le champ tournant est produit par deux séries de bobines montées en dérivation, mais en intercalant un condensateur dans l'un des circuits. On obtient ainsi très facilement le décalage d'un quart de période nécessaire à la production du champ tournant.

Digitized by Google

b. Alternateurs à phases multiples ou a courants polyphasés. — Les solutions indiquées précédemment conviennent à la distribution de la force motrice et à l'alimentation des moteurs de puissance moyenne ou de faible puissance. Pour les transports de grandes puissances, on préfère avoir recours à des générateurs spéciaux, produisant non plus un courant alternatif ordinaire, mais plusieurs courants alternatifs décalés d'une fraction de période convenable, c'est-à-dire des courants alternatifs *polyphasés*.

On peut employer, comme solution la plus simple, *deux* courants amenés par quatre fils, ou trois fils seulement en se servant d'un fil de retour commun. Des dispositions de ce genre ont été préconisées par MM. Ferraris et Tesla. Etant donnée l'obligation d'avoir recours à trois fils, on préfère les utiliser à la production de *trois* courants d'égale période, mais décalés l'un par rapport à l'autre d'un tiers de période, en profitant de cette observation que, pour trois courants ainsi décalés, la somme algébrique des intensités à chaque instant est toujours nulle, chacun des fils servant de retour aux courants traversant les deux autres circuits au même instant. Tel est le principe des moteurs à courants polyphasés réalisés depuis moins de deux ans par MM. Dolivo-Dobrowolsky, Haselvander, Bradley et Wenstrom. Un transport d'une force motrice de 300 chevaux fondé sur des courants de ce genre et actuellement en cours d'installation entre Lauffen et Francfort-sur-le-Mein, sur une distance de 175^{km}, sera effectué à l'aide de courants à trois phases engendrés à basse tension, transformés à haute tension (20000 à 30000 volts) par des transformateurs isolés au pétrole spécialement combinés dans ce but par M. Brown. A l'arrivée, ces courants seront transformés de nouveau en courants de basse tension par un transformateur analogue au premier, et finalement envoyés dans un moteur à champ tournant et à courant triphasés. L'intérêt tout particulier de ces expériences, dont on attend les résultats avec impatience et curiosité, réside dans le point, à fixer définitivement, que les courants alternatifs se prêtent mieux que les courants continus à la production, à la transformation et à la canalisation des puissances électriques représentées par des hauts potentiels et de faibles intensités. Les moteurs à champ tournant sont, d'autre part, des appareils à circuits métalliquement fermés, et ne pouvant par suite donner naissance à aucune étincelle d'extra-courant ni à aucune rupture dangereuse; la seule interruption nécessaire étant celle du commutateur de mise en marche ou d'arrêt, en un point spécial où toutes les précautions peuvent être prises pour faire disparaître tout danger.

Cette rapide énumération des procédés actuellement employés ou étudiés pour la transformation commode et économique de l'énergie électrique des courants alternatifs en travail mécanique nous montre que l'on peut considérer dès à présent le problème comme résolu. Il en sera sans doute de même à bref délai de l'utilisation des courants alternatifs aux opérations électrochimiques dans lesquelles intervient l'électrolyse et à l'emmagasinement de l'énergie électrique : les courants alternatifs prendront

Digitized by Google

alors une importance industrielle plus considérable que les courants continus, et nous assisterons à une nouvelle évolution des procédés électriques, en attendant celle que nous réservent, pour plus tard, les courants alternatifs de très grande fréquence.

SÉANCE DU 6 NOVEMBRE 1891.

PRÉSIDENCE DE M. VIOLLE.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 juillet est lu et adopté.

M. le PRÉSIDENT annonce les pertes douloureuses que la Société a faites pendant les vacances dans les personnes de M. le Dr *Boudet de Pâris*, *Paul Perier*, attaché au Bureau central météorologique, et *Sauvage*, Inspecteur des Postes et des Télégraphes à Evreux.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL annonce l'envoi d'un dessin de M. *L. Hugo* relatif aux phénomènes de convection (du froid) dans l'atmosphère de Mars (par transformation de la carte du pôle boréal de Schiaparelli).

M. DUFET rend compte à la Société des expériences qu'il a entreprises pour comparer, dans la mesure des indices, la méthode du prisme et celle de la réflexion totale. Pour la méthode du prisme, il a déterminé, par une méthode analogue à celle employée par M. Macé de Lépinay, l'indice ordinaire d'un prisme de quartz qui lui a servi ensuite à corriger des erreurs accidentelles les indices des prismes étudiés. Pour la réflexion totale, l'appareil employé était celui de M. Pulfrich. Les mesures sur le quartz et les verres montrent une entière concordance entre les deux méthodes; il en est de même pour le spath. L'indice extraordinaire, déterminé sur des plaques de clivage ou polies de différentes manières, s'est trouvé identique à celui mesuré par M. Carvallo.

Le sel gemme a donné des résultats un peu différents. Tandis que des lames de clivage donnent le même indice que le prisme, les plaques polies donnent un indice toujours un peu plus élevé; les différences peuvent atteindre 20 unités du cinquième ordre, ce qui est au moins cinq fois plus grand que l'erreur d'une mesure isolée. Ces différences sont variables avec le mode de poli et avec l'orientation; elles sont plus grandes pour les plans parallèles aux faces du dédocaèdre rhomboïdal que pour ceux parallèles aux faces du cube.

La sylvine, le gypse, l'alun se comportent à très peu près de la même manière; pourtant les différences sont moindres avec le dernier corps.

Les variations d'indice que l'on trouve ainsi sont beaucoup plus faibles

Digitized by Google

que celles qu'on pourrait déduire de l'influence du mode de polissage sur l'angle de polarisation. Elles paraissent dues à une variation permanente de densité produite par le polissage dans la couche superficielle des corps, plus ou moins analogue à l'écrouissage des métaux.

M. Leduc fait d'abord ressortir le désaccord qui existe entre les densités de l'azote et l'oxygène, d'après Regnault, et la composition de l'air atmosphérique, d'après Dumas et Boussingault. C'est en effet cette discordance qui l'a amené à reprendre les déterminations de ces illustres expérimentateurs. Il expose ensuite la méthode qu'il a suivie pour la détermination de la densité des gaz. Elle ne diffère de celle de Regnault que par les points suivants :

1° Le baromanomètre normal est modifié de manière à présenter les mêmes avantages que le baromètre à siphon et le tube manométrique est maintenu rempli de mercure, de manière qu'il ait aussi exactement que possible la température de l'autre branche.

2° Le ballon, dont le volume n'est que de $2^{lit},3$ environ, est muni d'un col étroit fermé par un robinet de verre, de manière à éviter tout mastic. La petitesse du ballon est largement compensée par la précision des pesées qui se font au $\frac{1}{10}$ de milligramme.

3° Afin de compenser les erreurs dues à l'essayage, M. Leduc pèse alternativement le ballon vide, plein de gaz, vide, etc., de manière à obtenir successivement des poids approchés par défaut et par excès.

Les résultats obtenus sont les suivants :

1° Le poids du litre d'air normal est $1^{gr},2933$; Regnault donne $1^{gr},293187$, mais il convient, d'une part, de faire subir à ce nombre une correction en raison de la diminution de volume subie par le ballon quand on y fait le vide, et de supprimer, d'autre part, les deux dernières décimales qui n'ont aucun sens, ce qui porte le nombre ci-après à $1^{gr},2934$.

2° La densité de l'azote *exempt d'hydrogène* est 0,972 à moins de $\frac{1}{10000}$ près; par défaut (moyenne 0,97203). Regnault donne 0,97137, mais l'azote préparé par lui contenait, ainsi que l'a montré M. Leduc, de l'hydrogène dû à la formation d'un hydrure de cuivre dans la préparation du cuivre pur réduit par l'hydrogène.

3° La densité de l'oxygène préparé par électrolyse et dépouillé d'ozone, d'hydrogène et autres impuretés, est 1,105 à moins de $\frac{1}{10000}$ près par défaut (moyenne des résultats 1,10506); Regnault donne 1,10563 pour l'oxygène préparé au moyen du chlorate de potasse et souillé par conséquent par des composés chlorés.

4° Pour s'assurer de sa méthode, M. Leduc a ensuite déterminé la densité de l'hydrogène qui doit être des plus difficiles à connaître exactement. Il a trouvé pour le gaz préparé par électrolyse aussi bien qu'au moyen du zinc 0,06948, soit pour le poids du litre d'hydrogène normal 0,08984 ; c'est

Digitized by Google

exactement, à moins de $\frac{1}{20}$ de milligramme près, le nombre de Regnault corrigé de la contraction du ballon vide.

5° Enfin M. Leduc se sert des nouvelles densités de l'azote et de l'oxygène pour établir la composition de l'air atmosphérique et trouve qu'il contient 21,026 pour 100 d'oxygène en volume et 23,23 pour 100 en poids. C'est précisément le résultat auquel il est arrivé par une nouvelle méthode qu'il a exposée ailleurs.

Dumas et Boussingault n'ont trouvé que 23 pour 100 d'oxygène dans l'air, mais M. Leduc montre comment le poids de ce gaz s'est trouvé diminué et celui de l'azote augmenté par suite de la circonstance rappelée plus haut (destruction de l'hydrure de cuivre).

Mesures comparatives d'indices par le prisme et la réflexion totale;

Par M. H. Dufet.

Introduction.

La mesure des indices de réfraction par la réflexion totale présente, surtout dans le cas des corps biréfringents, de tels avantages, qu'elle tend à se substituer à la méthode du prisme. Elle permet en effet bien plus facilement que cette dernière, dans le cas des corps cristallisés, la détermination de l'orientation optique, et principalement si l'on fait usage de l'appareil de M. Pulfrich, la précision que l'on peut obtenir par les lectures paraît au moins égale à celle que peuvent donner les mesures les plus soignées par le prisme.

Une objection cependant persiste, formulée par divers physiciens et en particulier par M. Mascart dans son récent *Traité d'Optique,* c'est l'influence possible d'une modification par le polissage de la surface réfléchissante. Je ne crois pas que l'on ait fait d'expériences suivies pour répondre à cette objection. On a fait sans doute des mesures comparatives et pu montrer que les mesures d'indices d'un même corps par la réflexion totale ne diffèrent pas plus des mesures par le prisme que celles-ci ne diffèrent entre elles; il ressort déjà de ces recherches que l'effet du poli, s'il

Digitized by Google

existe, doit être bien petit. J'ai cherché à instituer un système d'expériences me permettant de décider sur l'existence de cet effet et de déterminer, le cas échéant, la grandeur de l'erreur possible. Il fallait pour cela opérer concurremment par les deux méthodes sur le même échantillon, en demandant à chacune d'elles toute la précision dont elle est capable.

Pour le prisme, j'ai utilisé un goniomètre de Brunner donnant les 10 secondes et par estime les 5 secondes. Si cet appareil, bien réglé sur l'infini, donne exactement la mesure de la déviation minimum dans un prisme à faces bien planes et convenablement placé de manière à n'utiliser que la partie centrale des lentilles, il permet moins exactement de déterminer l'angle à l'aide du collimateur, à cause du défaut d'aplanétisme des lentilles et de l'excentricité forcée du faisceau. Il y a longtemps que l'on emploie de préférence la réflexion sous incidence normale; mais cette méthode n'est possible qu'avec des faces assez grandes et bien réfléchissantes, et, en général, je n'ai pu l'employer. Sur les prismes dont je me suis servi, surtout pour les substances tendres, le poli n'était pas poussé à fond de manière à ne pas altérer la planité, et de plus les faces étaient en grande partie recouvertes de vernis noir mat, afin d'obtenir des images parfaites de la fente. Avec le grossissement assez fort de la lunette (21 fois) et une longueur focale de 29^{cm} pour le collimateur, n'observant aucun dépointement, j'étais assuré de n'avoir pas d'erreur sensible pour la collimation. Reste l'influence des défauts d'aplanétisme et d'achromatisme des lentilles. J'ai commencé par déterminer, avec le plus grand soin, comme je l'indiquerai tout à l'heure, l'indice ordinaire pour la raie D d'un prisme de quartz, qui m'a servi de type dans toutes mes mesures. Pour le sel gemme, l'alun, etc., les prismes, de même angle que le prisme de quartz (60°), étaient noircis partiellement de manière à donner des images parfaites, et l'indice déterminé à l'aide du collimateur. A ce prisme était alors substitué le prisme de quartz, noirci de la même manière, et occupant exactement la même position sur la plate-forme du goniomètre; la différence entre l'indice mesuré dans ces conditions pour le quartz, et l'indice admis d'après les recherches plus complètes, donnait un terme correctif pour l'indice mesuré de la substance. Je me suis assuré que dans ces conditions, en faisant varier notablement le tirage de la lunette et du collimateur, ainsi que la place occupée

Digitized by Google

par les prismes, on retrouve toujours après correction la même valeur pour l'indice cherché.

Pour la réflexion totale, j'ai toujours employé le réflectomètre de Pulfrich, avec le cylindre le moins réfringent. J'en ai déterminé l'indice de deux manières, à l'aide du prisme de quartz, et directement sur le prisme de comparaison fourni par le constructeur.

Il faut, bien entendu, tenir compte des variations de la température donnée par un thermomètre placé très près de la lame ou du prisme à étudier; le réservoir plongeait dans un petit tube plein de liquide, de manière à donner au thermomètre une vitesse de variation comparable à celle du prisme lui-même.

I. *Étude du prisme de quartz.* — Le prisme, à base équilatérale et poli sur ses trois faces, a ses arêtes bien parallèles ; les images passent toutes les trois dans le champ de la lunette à une distance du point de croisée inférieure à une minute. La somme des trois angles est donc rigoureusement égale à 180°. Il suffit dès lors de mesurer deux à deux les différences des trois angles.

La lunette était munie pour ces mesures d'un oculaire à fil mobile; la tare de la vis micrométrique a été déterminée à plusieurs reprises et j'ai trouvé qu'une division du tambour correspondait à $2'',895$. Le prisme est placé exactement au centre de la plateforme, les faces étant noircies de manière à ne réserver que la partie centrale qui était parfaitement plane. La lunette est amenée successivement dans deux positions toujours les mêmes, distantes de 120°, et l'on mesure à l'aide du micromètre pour chacun des angles du prisme l'excès positif ou négatif de l'angle des rayons réfléchis sur l'angle des deux positions de la lunette. Ainsi, dans une expérience, en appelant α, β, γ les trois angles du prisme, ε l'erreur *constante* introduite par les défauts de collimation, d'aplanétisme, etc., je trouve

$$\begin{aligned} 2\alpha &= 120^\circ + \varepsilon + 226'',4, \\ 2\beta &= 120 + \varepsilon + 102,2, \\ 2\gamma &= 120 + \varepsilon - 371,7, \end{aligned}$$

d'où l'on tire, en tenant compte de ce que $\alpha + \beta + \gamma = 180°$,

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= 60^\circ.\ 2'.\ 0'',4 \\ \beta &= 60.\ 0.58,3 \\ \gamma &= 59.57.\ 1,3 \end{aligned}\right\} \varepsilon = 14'',4.$$

Digitized by Google

Cette méthode est analogue à celle employée par M. Macé de Lépinay (¹).

On peut aussi, à l'aide du micromètre, mesurer les différences des déviations minima sur les trois angles et en déduire les différences des angles eux-mêmes, avec la valeur suffisamment connue de l'indice du quartz. J'ai trouvé ainsi dans une expérience

$$\alpha = 60^\circ.\ 1'.56'',7,$$
$$\beta = 60.\ 1.\ 1,5,$$
$$\gamma = 59.57.\ 1,8.$$

On mesure alors la déviation minimum, en centrant mieux le prisme, de manière que pour chaque angle le faisceau qui le traverse vienne de la partie centrale du collimateur et tombe sur la partie centrale de la lunette. Il n'y avait aucun changement à faire dans le tirage pour mettre au point la raie du sodium. J'ai ainsi pour la température de 18°C. :

Angles (moy. de 5 séries).	Déviation min. (moy. de 4 séries).	Indice ordinaire.	Moyenne.
$\alpha = 60^\circ.\ 1'.58''$.....	$41^\circ.7'.28'',5$	1,544230	1,544240
$\beta = 60.\ 0.59$.....	41.6.28	1,544244	
$\gamma = 59.57.\ 3$.....	41.2.8	1,544246	

J'arrive ainsi exactement au même nombre que M. Macé de Lépinay; il donne en effet, pour la température de 15°, 1,54425. D'après les mesures que j'ai faites, il y a quelques années, de la variation d'indice de quartz (²), l'indice ordinaire, par rapport à l'air à la même température que le quartz, diminue de 0,0000047 par degré entre 15° et 20°; on aurait à 20° :

1,544227 (Macé de Lépinay).
1,544231 (Dufet).

Je prends dans ce qui suit, pour l'indice du quartz, la valeur

$$n = 1,54423[1 - 0,0000047(t - 20)].$$

II. *Indice du cylindre.* — A la température de 15°, l'angle de réflexion totale pour le quartz a été trouvé égal à 28°7′0″. D'autre part, la position du zéro dans le limbe vertical de l'appareil de

(¹) Macé de Lépinay, *Journal de Physique*, 2ᵉ série, t. VI, p. 190.
(²) *Journal de Physique*, 2ᵉ série, t. IV, p. 391; 1885.

Digitized by Google

Pulfrich, par rapport à la surface supérieure du cylindre, a été déterminée par autocollimation, et trouvée égale à $-1^\circ 10''$. D'où, pour l'angle de réflexion et l'indice du cylindre, les valeurs

$$i = 28^\circ 5' 50'',$$
$$n = 1,614475.$$

L'indice du cylindre a été déterminé également à l'aide du prisme de comparaison; l'angle de ce prisme est $60^\circ 10' 20''$, valeur trouvée identique, soit par l'emploi de la réflexion normale, soit par des pointés sur une mire distante de 4^{km} (paratonnerre de la tour Eiffel). La déviation pour le milieu de l'intervalle des raies $D_1 D_2$ est à 18°C. $47^\circ 53' 31'',25$, d'où l'indice 1,614492.

Cet indice varie sensiblement avec la température; j'ai pendant l'hiver transporté mon goniomètre avec le prisme réglé dans une salle non chauffée, et j'ai obtenu entre les températures de 15° et de 3° une différence de 50″ dans la double déviation. Malgré la petitesse de cette variation, on peut la regarder comme exacte à $\frac{1}{10}$ de sa valeur, puisque rien absolument n'avait été changé dans la position du prisme et des lunettes. On en déduit

$$\frac{dn}{dt} = +0,0000059,$$

valeur qui concorde avec les résultats donnés par M. Fizeau pour des flints d'indice analogue.

En ramenant avec cette valeur la mesure précédente d'indice à 15°, température des expériences sur le cylindre, on trouve le nombre identique

$$n_{15} = 1,614474.$$

Il est permis, en présence de cette concordance complète, de se servir du quartz dans les mesures de réflexion totale pour déterminer le zéro de l'appareil de Pulfrich; j'ai d'ailleurs montré (¹) qu'il n'y avait pas de différenee appréciable entre les indices des quartz limpides employés pour l'Optique. Soient alors φ l'incidence de réflexion totale calculée pour une température donnée, i l'incidence observée pour le quartz, n son indice, I l'incidence et N l'indice pour la substance à étudier, on aura évidemment, d'après

(¹) *Bulletin de la Soc. de Minér.*, t. XIII, p. 271.

Digitized by Google

la formule qui donne l'indice dans l'appareil Pulfrich

$$n^2 - N^2 = \sin(I - i)\sin(I - i + 2\varphi).$$

J'ai calculé les valeurs de φ pour les températures de 15° à 23°, ce qui me donne la Table suivante :

t.	φ.
15°	28°.5'.50
16	5.58
17	6. 6
18	6.14
19	6.22
20	6.31
21	6.39
22	6.47
23	6.55

III. *Verres.* — D'après ce qui précède, la méthode du prisme et la réflexion totale me conduisent exactement au même résultat pour le quartz; il en est de même pour quelques verres que j'ai étudiés. Les mesures ont été faites à la température de 15°. Deux des prismes avaient les trois faces polies; les incidences observées, pour la réflexion totale, sont corrigées par l'emploi d'un quartz de comparaison.

	Indice par le prisme.		Réflexion totale.
A. Flint léger	1,558349 1,558369 1,558365	Moy. 1,55836	1,55836
B. Crown	1,528901 1,528887 1,528872	Moy. 1,52889	1,52891
C. Crown léger	1,51575		1,51572

IV. *Spath d'Islande.* — Ce corps mériterait une étude approfondie; j'ai dû me borner dans ce travail à l'indice extraordinaire que je pouvais seul atteindre avec le cylindre dont je me servais. L'appareil de M. Pulfrich permet d'ailleurs très simplement de le mesurer sur une plaque quelconque, en prenant le maximum de l'angle de réflexion totale; en faisant les mesures dans une étendue d'une dizaine de degrés aux environs du maximum, on peut le déterminer graphiquement par une courbe à grande échelle, qui permet d'utiliser toutes les observations.

Digitized by Google

J'ai ramené toutes les observations à la température de 20° au moyen du coefficient donné par M. Fizeau [1], et que M. Offret a retrouvé identique [2], qui, pour l'air chaud, est $\frac{dn}{dt} = +0,000012$.

Le poli ne paraît pas modifier la surface, au moins quand l'on se sert de potée d'étain, qui donne au polissage des faces plus planes que le rouge d'Angleterre. J'ai comparé une lame de clivage parfaitement plane aux deux faces d'une lame détachée du même fragment, polies l'une à la potée d'étain, l'autre au rouge.

Je trouve :

Clivage.	Potée.	Rouge.
1,48645	1,48645	»
1,48645	1,48645	1,48650
1,48646	1,48646	»
1,48647	»	1,48648
1,48646	»	»

Avec d'autres lames polies :

Parallèle à l'axe.....	1,48647
Presque normale à l'axe.....	1,48649
Parallèle au clivage I.....	1,48646
» » II..... ...	1,48644

Ces nombres paraissent donc sensiblement constants; il me paraît d'ailleurs peu vraisemblable que l'indice varie d'un échantillon à l'autre, étant donné que tout le spath utilisé pour l'Optique provient du même gisement. Les divergences assez notables que l'on trouve entre les résultats des divers expérimentateurs doivent tenir aux erreurs d'expérience, si difficiles à éviter avec une substance comme le spath. Les nombres que j'obtiens se rapprochent beaucoup du nombre obtenu par M. Carvallo [3] dans des mesures très soignées. Il donne, pour 22°, 1,48653 (mesuré), et 1,48650 (calculé d'après toutes les observations). Ce chiffre donnerait, à 20°, 1,486476.

V. *Sel gemme.* — Si les propriétés de la surface ne paraissent pas altérées d'une manière appréciable dans les substances dures comme le verre, et dans le spath, il n'en est plus de même dans

(1) Fizeau, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LXVI, p. 429.
(2) Offret, *Bull. de la Soc. de Minér.*, t. XIII, p. 520.
(3) *Ann. scientif. de l'École Norm. sup.*, t. VII. Supplément, p. 3 et suiv.

Digitized by Google

des corps plus tendres. Je rapporterai d'abord mes mesures sur le sel gemme, qui ont été les plus complètes.

J'ai opéré sur du sel gemme parfaitement limpide, sans inclusions visibles, qui provient de la mine de Saint-Pandelon (Landes).

Pour l'indice de réfraction, j'ai suivi la marche indiquée plus haut, en ramenant les résultats à la température de 18°; j'ai admis pour cela la valeur de $\frac{dn}{dt}$ donnée par Stefan (¹) $\left[\frac{dn}{dt} = -0,0000373\right]$, ce qui suffit, vu la petitesse des corrections.

Température.	Quartz de comparaison			Sel gemme			
	mesuré.	calculé.	Correction.	mesuré.	corrigé.	ramené à 18°.	Différence.
20°,0.	1,544138	1,544230	+ 9,8	1,544150	1,544242	1,544316	— 1,7
20,5.	1,544220	1,544228	+ 0,8	1,544220	1,544228	1,544321	— 1,2
17,8.	1,544290	1,544240	+ 5,0	1,544417	1,544367	1,544360	+ 2,7
17,0.	»	»	+ 5,0	1,544446	1,544396	1,544359	+ 2,6
16,5.	1,544300	1,544246	— 5,4	1,544440	1,544386	1,544331	— 0,2
17,2.	»	»	— 5,4	1,544423	1,544369	1,544339	+ 0,6
15,0.	»	»	— 5,4	1,544478	1,544424	1,544312	— 2,1
16,5.	1,544221	1,544246	+ 2,5	1,544354	1,544379	1,544324	— 0,9

La moyenne générale est

$$n = 1,544333.$$

La colonne marquée *Différence* donne l'écart entre chaque mesure et la moyenne, en unités du cinquième ordre. En présence de la difficulté de connaître très exactement la température du prisme, on trouvera sans doute la concordance très satisfaisante.

Pour la méthode de la réflexion totale, surtout dans l'appareil de Pulfrich où le grossissement et, par suite, la précision sont relativement considérables, il faut avoir des plaques parfaitement planes et bien polies. Ces conditions sont difficiles à réaliser avec des plaques de clivage, quelque homogène que paraisse la substance; je suis cependant arrivé avec quelque peine à obtenir deux plaques de clivage donnant des images parfaites. Les résultats concordent avec ceux du prisme; j'ai obtenu dans trois séries de lectures :

(¹) STEFAN, *Wien. Sit.-Berich.*, t. LXIII, II, p. 239.

Digitized by Google

Température.	$i - I$.	N.	N à 18°.
18°	1.19'	1,544342	1,544342
18	1.24	1,545348	1,544348
17,5	1.35	1,544365	1,544346

La différence avec la méthode du prisme, environ une unité du cinquième ordre décimal, rentre absolument dans les erreurs d'expérience, les conditions dans lesquelles on mesure la température dans les deux cas n'étant pas identiques, malgré l'emploi du même thermomètre.

Si, au lieu d'employer des plaques de clivage, on emploie des plaques polies, l'indice trouvé par réflexion totale est toujours un peu plus fort que par le prisme. Le meilleur mode de polissage consiste à frotter le cristal sur une plaque de verre dépoli à grains très fins et bien plane, après l'avoir légèrement humectée avec l'haleine; la dissolution concentrée se dessèche et, en continuant à frotter sur le sel ainsi déposé, on arrive à avoir des plaques tout à fait planes et d'un beau poli. Il faut à la fin de l'opération frotter assez énergiquement, et c'est sans doute à ce moment que la surface s'altère; l'effet est moins marqué sur des plaques doucies avec précaution et polies soit avec du tripoli très fin, soit avec du carbonate de chaux précipité, étalé sur une étoffe de soie bien tendue sur une lame de verre. Ce dernier procédé donne cependant des faces moins planes.

Voici le Tableau d'un certain nombre de mesures, faites le plus souvent avec les faces mêmes de mes prismes. Les mesures marquées * portent sur des plaques polies légèrement au tripoli ou à la craie.

Plaques parallèles au clivage [Face *p* (100)].

Température.	$i - I$.	N.	N à 18° C.	Δ.
*16°.....	2.20'	1,544431	1,544367	+ $3,4 \times 10^{-5}$
*19.....	1.15	1,544332	1,544369	+ 3,6
19.....	1.35	1,544358	1,554395	+ 6,2
18.....	2. 7,5	1,544401	1,544401	+ 6,8
19.....	1.55	1,544385	1,544422	+ 8,9
19.....	2. 0	1,544391	1,544428	+ 9,5
18.....	2.45	1,544453	1,544453	+ 12,0
19.....	2.20	1,544417	1,544454	+ 12,1
19.....	2.39	1,544442	1,544479	+ 14,6
17.....	3.39	1,544529	1,544492	+ 15,9

Digitized by Google

Plaques parallèles à b^1 (110).

Température.	$i-1$.	N.	N à 18°C.	Δ.
*15°.....	3'.35"	1,544534	1,544422	+ 8,9
18.....	2.35	1,544440	1,544440	+ 10,7
19.....	2.20	1,544417	1,544454	+ 12,1
19.....	2.36	1,544438	1,444475	+ 14,2
19.....	2.46	1,544451	1,544488	+ 15,5
18.....	3.28	1,544509	1,544509	+ 17,6
17,8...	3.45	1,544532	1,544525	+ 19,2
18.....	4. 2	1,544554	1,544554	+ 22,1

Plaques parallèles à a^1 (111).

19,8...	2. 0	1,544387	1,544444	+ 11,1
19.....	2.14	1,544409	1,544446	+ 11,3
19,5. .	2.22	1,544417	1,544472	+ 13,9
19.....	2.40	1,544443	1,444480	+ 14,7

On voit par les résultats inscrits dans ce Tableau que les différences avec la valeur trouvée par le prisme, sur des échantillons identiques, est toujours positive; l'erreur sur chaque pointé, sel gemme et quartz de comparaison, ne dépasse pas 10", chaque valeur étant la moyenne d'un certain nombre de lectures (6 ou 8); il en résulte pour Δ une erreur qui peut atteindre deux à trois unités, qui par suite est inférieure aux valeurs trouvées. Il paraît donc bien y avoir une augmentation de l'indice, plus sensible pour les plaques b^1 que pour les plaques p, ce qui est en rapport avec la différence marquée des coefficients d'élasticité du sel gemme suivant différentes directions.

Cette différence entre les faces b^1 et p peut se constater directement, à l'aide de prismes dont les faces sont taillées parallèlement à ces plans. Le prisme étant posé sur le cylindre du réflectomètre, on fait une série de mesures alternées sur les deux faces. Les causes d'erreur accidentelles, telles que température, centrage, etc., sont éliminées; je trouve ainsi pour différence d'indice entre b^1 et p.

Poli au tripoli.	Moyenne.	Poli sur verre.	Moyenne.
$10^{-5}\times$+ 5,1		+ 6,8	
+ 5,2		+ 8,8	
+ 6,7	5,5	+ 6,7	6,6
+ 4,7		+ 4,6	
+ 5,5		+ 6,2	
+ 5,7			

Digitized by Google

Au contraire, deux faces p sur un même prisme ne donnent qu'une différence s'élevant au maximum à $2,6 \times 10^{-5}$.

VI. *Sylvine.* — La sylvine m'a donné des résultats analogues à ceux du sel gemme. Un prisme taillé dans un cristal de Stassfurt m'a donné :

t.	n.
22°,5	1,490190
23°	1,470185

La correction calculée à l'aide d'une mesure sur le quartz de comparaison atteint seulement $10^{-5} \times 1,1$. Avec la valeur — 0,0000346 donnée pour $\frac{dn}{dt}$ par M. Stefan, j'obtiens à 20° :

$$\left.\begin{array}{l} 1,490288 \\ 1,490300 \end{array}\right\} \text{Moyenne } 1,490294.$$

Je n'ai pu obtenir, avec mon prisme, de lames de clivage suffisamment planes pour donner de bonnes limites au réflectomètre. Les mesures faites sur les faces du prisme m'ont conduit, comme pour le sel gemme, à des valeurs plus élevées que la méthode du prisme, avec des différences de même ordre, et variables avec la manière dont s'effectuait le polissage.

Températures.	N.	N à 20°.	Δ.
23°,5 (1)	1,490245	1,490366	$+ 7,2 \times 10^{-5}$
18,0	1,490446	1,490367	+ 7,3
19,0	1,490406	1,490371	+ 7,7
23,5	1,490274	1,490395	+ 10,1
19,5	1,490464	1,490447	+ 15,3
23,0	1,470361	1,490465	+ 17,1

VII. *Gypse.* — J'ai déterminé l'indice moyen par réflexion totale sur une lame de clivage qui m'avait servi dans mon étude sur les *Constantes optiques du gypse de Montmartre* (2). J'avais, dans ce Mémoire, donné pour l'indice moyen la valeur 1,52260 à 19° C., en l'estimant approchée à ± 2 unités du cinquième ordre décimal.

(1) Poli très doux au tripoli.

(2) *Journal de Physique*, 2e série, t. VII, p. 292; 1888.

Digitized by Google

Les mesures par réflexion totale sont complètement d'accord avec ce nombre; je les ai ramenées à 19° à l'aide du coefficient de variation que j'ai donné, $\frac{dn}{dt} = -0,0000414$ (pour l'air chaud).

Températures.	N.	N à 19°.	Moyenne.
17°,5.....	1,522689	1,522627	
18,0.....	1,522652	1,522611	
23,0.....	1,522450	1,522616	1,52262
23,5.....	1,522440	1,522627	
23,5.....	1,522437	1,522624	

Étant données la variation considérable de l'indice par la température et la difficulté de l'apprécier avec rigueur, on peut regarder cette concordance comme complète.

Pour avoir des lames polies appartenant au même fragment, j'ai utilisé les faces d'un des prismes qui m'avaient servi dans les recherches précitées. Les faces sont normales au plan du clivage facile; l'une est perpendiculaire, pour la température ordinaire, à la bissectrice aiguë, les deux autres sensiblement normales aux axes optiques. Je n'ai pu observer que sur l'une de ces dernières. Par des observations alternées avec la lame de clivage, je trouve :

	$i - I$.	Δ_n.
Face normale à la bissectrice....	1.35"	$+ 13,7 \times 10^{-5}$
	1.40	$+ 14,4$
	1.55	$+ 15,9$
Face normale à l'axe.....	0.55	$+ 7,9$
	1.25	$+ 12,3$

Le gypse paraît donc se comporter comme le sel gemme et la sylvine; il ne semble pas d'ailleurs que la biréfringence soit altérée sensiblement. A la température de 23°,5, j'ai obtenu sur la face perpendiculaire à la bissectrice aiguë, pour la différence entre les indices maximum et moyen, 0,007088. Ce nombre concorde absolument avec celui que j'ai trouvé autrefois, 0,00702 à 19°C., ce qui, à 23°,5, donne 0,007094.

VIII. *Alun*. — Dans un gros cristal d'alun de potasse parfaitement limpide, j'ai taillé un prisme de 60° environ dont les faces m'ont également servi pour les mesures de réflexion totale. J'ai

Digitized by Google

pris, pour ramener toutes les mesures à la même température de 20°, le coefficient donné par Stefan :

$$\frac{dn}{dt} = -0,0000134.$$

Dans trois séries de mesures où les faces avaient été chaque fois refaites, j'ai obtenu :

Températures.	N.	N à 20°.	Moyenne.
20°,0.....	1,456217	1,456217	1,456220
21,5.....	1,456203	1,456223	
23,4.....	1,456173	1,456219	

Les deux premiers nombres ont subi une petite correction déterminée, comme je l'ai dit plus haut, avec le prisme de quartz; cette correction vaut $-0,5 \times 10^{-5}$ pour le premier, $+1,3 \times 10^{-5}$ pour le second, et m'a paru sensiblement nulle pour le troisième.

Par réflexion totale, on trouve encore quelques différences d'après le mode de polissage employé, mais elles sont moindres que dans les corps précédents. En polissant la lame doucie avec du tripoli très fin ou du rouge d'Angleterre, on retrouve le même nombre qu'avec le prisme; l'indice s'élève un peu quand on polit le sel sur une lame de verre, ainsi que je l'ai indiqué plus haut, à propos du sel gemme et d'autant que le frottement exercé à la fin de l'opération a été plus énergique. C'est le cas des deux observations marquées d'un (*) dans le Tableau suivant. La colonne Δ donne, comme dans les Tableaux précédents, la différence avec la moyenne donnée par le prisme.

Mode de polissage.	Températures.	I — i.	N.	N à 20°.	Δ.
Rouge....	23°,5	16°.5'.55"	1,456155	1,456202	$-1,8 \times 10^{-5}$
Tripoli...	21,5	16.5.35	1,456205	1,456225	+ 0,5
» ...	23,0	16.5.40	1,456182	1,456222	+ 0,2
Verre....	21,5	16.5.50	1,456253	1,456273	+ 5,3
»	20,5	16.5.00	1,456267	1,456274	+ 5,4
»	23,0	16.5.00	1,456249	1,456289	+ 6,9
*»	19,0	16.4.25	1,456337	1,456324	+ 10,4
*»	21,5	16.4.25	1,456322	1,456342	+ 12,2

Conclusions. — Dans les observations qui précèdent, j'ai donné les indices avec six décimales, mais il est évident que la

Digitized by Google

dernière ne compte guère que pour montrer si l'on doit forcer ou non la cinquième. Les écarts, cependant, entre les deux méthodes ne me paraissent pas douteux, et mes nombres peuvent au moins donner une idée approchée de leur valeur. Elle est, comme on le voit, toujours petite, parfois nulle, même dans des substances tendres.

Au point de vue pratique, je crois avoir démontré que l'on peut se servir en général avec toute sécurité de la méthode de la réflexion totale, quand on emploie les appareils ordinaires, qui permettent à peine d'atteindre à la quatrième décimale. Il sera bon, avec des appareils plus précis, comme celui de M. Pulfrich, de prendre quelques précautions et de n'employer que les modes de polissage qui risquent le moins de comprimer les surfaces.

Quant à la cause de ces phénomènes, il me paraît difficile de l'attribuer à une altération toute superficielle; l'effet d'altérations de ce genre se fait sentir dans d'autres cas, par exemple dans la détermination de l'angle de polarisation. On sait, par de nombreux travaux, l'influence considérable qu'a sur cet angle le mode de polissage employé et les traces de matière étrangère qui restent adhérentes à la surface; si l'on voulait conclure des variations de cet angle à des variations correspondantes pour l'indice, on en trouverait de beaucoup plus grandes que celles que j'ai constatées. Il semblerait donc résulter de cette contradiction apparente que les deux phénomènes ne sont pas dus à la même cause et qu'en particulier l'épaisseur de la couche dans laquelle se produisent les phénomènes de réflexion totale est plus considérable que celle où se produit la séparation des vibrations réfléchies et transmises.

J'ajouterai que les causes modifiantes sont très différentes dans les deux cas. Le polissage sur la substance elle-même, comme cela se produit, somme toute, dans le polissage que j'emploie avec un verre dépoli, détermine dans les phénomènes que j'ai étudiés la variation maximum, tandis qu'au contraire c'est celui qui a la plus faible action sur l'angle de polarisation. On comprend bien, d'ailleurs, qu'à une déformation homogène qui produirait une variation de densité répondant à une variation sensible d'indice pourrait ne correspondre qu'une variation tout à fait insensible de l'angle de polarisation. Par exemple, avec un corps d'indice 1,5

Digitized by Google

et de densité 2,5, à une variation de la densité égale à 0,001, correspondraient une variation d'indice de 0,0002, supérieure à la plupart de celles que j'ai observées, et une variation de 15″ dans l'angle de polarisation complète.

Je pense que dans mes expériences la compression résultant du polissage produit une variation non homogène, plus ou moins analogue à l'écrouissage des métaux, s'étendant à une profondeur très faible en valeur absolue, qui n'aurait pas besoin de dépasser quelques millièmes de millimètre, mais qui constituerait un phénomène différent des altérations purement superficielles. La grandeur des variations d'indice observées, la manière dont elles se produisent et surtout leur sens me paraissent d'accord avec cette hypothèse.

Sur la densité des gaz oxygène, azote, hydrogène, et la composition de l'air atmosphérique;

PAR M. A. LEDUC.

La grande autorité scientifique de Regnault et de Dumas a fait admettre comme définitifs les résultats de leurs expériences sur la densité des gaz, d'une part, et la composition de l'air atmosphérique, d'autre part. Il est remarquable que personne, depuis plus de quarante ans, pas même Regnault, n'ait eu l'idée de comparer les densités de l'azote et de l'oxygène, d'après ce dernier, avec les nombres de Dumas et Boussingault relatifs à la composition de l'air. Il y a, en effet, entre ces résultats, une discordance que je vais d'abord faire ressortir.

Soient x la proportion centésimale en volume de l'oxygène dans l'air, d sa densité, d' celle de l'azote. Exprimons que le poids de l'air est égal à la somme des poids de l'azote et de l'oxygène mélangés :

$$a\,dx + a\,d'(100 - x) = 100.a,$$

d'où l'on tire

$$x = \frac{100\,(1 - d')}{d - d'}.$$

Si l'on remplace, dans cette expression, d et d' par les nombres de

Digitized by Google

Regnault ($d = 1,10563$, $d' = 0,97137$), on trouve

$$x = 21,324,$$

d'où la proportion centésimale en poids 23,58, au lieu de 23 que donne l'expérience de Dumas et Boussingault, comme moyenne de nombres compris entre 22,9 et 23,1.

Il faut évidemment écarter l'hypothèse d'une variation importante dans la composition de l'air et celle de l'inexactitude de la loi du mélange des gaz.

Il ne m'a point paru possible d'imputer cet écart aux pesées de Dumas et Boussingault, car il eût fallu admettre des erreurs courantes de l'ordre du décigramme.

L'hypothèse d'une erreur sur les densités, et spécialement sur celle de l'azote, était plus plausible; il suffit, en effet, d'augmenter celle-ci de $\frac{1}{1000}$ pour retrouver le nombre de Dumas et Boussingault [1].

Une altération semblable de la densité de l'oxygène produirait un effet beaucoup moindre, et d'ailleurs mon attention se porta tout d'abord sur l'azote parce que Dumas et Boussingault avaient donné pour sa densité 0,972 (moyenne prise, il est vrai, entre des nombres peu concordants), tandis qu'ils étaient d'accord avec Regnault pour l'oxygène.

J'ai donc entrepris, en juillet 1890, de refaire les déterminations de Dumas et de Regnault, en commençant par la densité de l'azote.

Quelques expériences préliminaires, faites dans des conditions peu favorables, me donnèrent des nombres compris entre 0,972 et 0,973. J'insisterai seulement sur une particularité de ces expériences. N'ayant à ma disposition qu'une petite balance pesant 50^{gr} à $\frac{1}{20}$ de milligramme près, je dus me servir d'un ballon en verre soufflé d'un quart de litre. Ce ballon, bien que trop petit pour les expériences de grande précision, permet, comme on le voit, de déterminer les densités à moins d'un millième près. Il me paraît convenable d'employer, pour les mesures plus précises, un ballon de deux à trois litres; mais je crois qu'un gros ballon comme celui de Regnault présente plus d'inconvénients que d'avantages.

---

[1] Voir *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 4 août 1890.

Digitized by Google

J'arrive maintenant au détail de mes expériences définitives.

J'ai suivi, en général, la méthode de Regnault, en y apportant quelques perfectionnements que je vais indiquer.

I. — Causes d'erreurs dans les expériences de Regnault. Modifications.

La plupart des erreurs commises par Regnault dans la détermination des densités sont accidentelles et susceptibles de se produire en des sens contraires, de sorte qu'elles disparaissent à peu près dans les moyennes, ainsi que nous le verrons plus loin; mais il est clair que les moyennes ont d'autant plus de valeur qu'elles sont prises entre des nombres plus rapprochés; aussi ne me paraît-il point sans intérêt d'éviter, dans les mesures, toute erreur susceptible d'altérer la dernière décimale que l'on se propose d'obtenir.

D'un autre côté, pour ne point se faire d'illusion sur la valeur de cette dernière décimale, il convient de se rendre compte des erreurs inévitables. Il est facile de voir, par exemple, que la cinquième décimale, que donne généralement Regnault pour la densité des gaz, est dénuée de sens, et qu'il faut s'estimer heureux de pouvoir garantir la quatrième.

1° *Pression.* — La mesure de la pression du gaz que l'on a pesé comporte, en effet, à elle seule, une erreur relative qui dépasse facilement le dix-millième.

1° La mesure de la pression atmosphérique au moyen du baromètre normal comporte quatre lectures au cathétomètre et un affleurement; de là cinq erreurs probables qui dépassent généralement le centième de millimètre et peuvent s'ajouter.

De plus, la verticalité de la tige à deux pointes est bien difficile à réaliser d'une manière parfaite, d'autant plus que la vis ballotte toujours un peu dans son écrou (1). J'ai constaté qu'il peut en résulter une erreur de plusieurs centièmes de millimètre. D'ailleurs l'emploi de cette tige a le tort de compliquer la correction de température.

---

(1) Cela est inévitable, les deux pièces se dilatant très inégalement; on sait que c'est là le défaut, peut-être unique mais assez grave, des vis micrométriques.

Digitized by Google

Afin d'éviter ces inconvénients et de réduire les erreurs à celles de deux lectures, j'ai disposé, à cheval sur le côté voisin de la cuvette, un petit tube en S dont la partie libre a un diamètre égal à celui du tube barométrique. Le baromètre normal, ainsi modifié, jouit des avantages du baromètre à siphon.

Le tube témoin qui sert à mesurer la température du baromètre est placé à mi-hauteur et très près de celui-ci.

En outre, des joues métalliques fixées à la planchette protègent les tubes contre les courants d'air. Dans ces conditions, il est probable que la température du mercure est connue à moins de $\frac{1}{10}$ de degré près.

Le tube manométrique, placé aussi près que possible du baromètre, est muni d'un robinet de verre qui permet de ne le mettre en communication avec le reste des appareils que pendant la mesure des pressions résiduelles, de sorte qu'il reste constamment plein de mercure. Il a donc, à très peu près, la température du baromètre, tandis que, si l'on ne fait monter le mercure dans ce tube qu'au moment des mesures, il peut y avoir une différence de plus d'un demi-degré entre les deux colonnes, et l'on sait qu'une erreur de $0^{\circ},1$ correspond à une erreur $> 0^{mm},01$ sur la hauteur de la colonne barométrique.

En résumé, je crois que, dans les cas les plus défavorables, je connais la pression du gaz pesé à moins de $0^{mm},04$ près, ce qui correspond à une erreur relative de $\frac{1}{20000}$.

2° *Vide. Essuyages.* — Regnault tare d'abord son ballon rempli de gaz, puis rétablit l'équilibre après y avoir fait le vide à quelques millimètres près, au moyen d'une machine pneumatique ordinaire.

Il est clair que, si cette machine présente des fuites, le gaz résiduel peut être mélangé d'air atmosphérique.

En outre, et cela me paraît plus grave, l'essuyage du ballon a pour effet de lui faire perdre de son poids, un peu par usure réelle et dissolution du verre dans l'humidité du linge, mais surtout par enlèvement de la graisse du robinet.

On peut voir que la perte de poids subie par le ballon de Regnault après deux essuyages s'est élevée à $0^{gr},01$ entre les pesées à vide I et II, III et IV sur l'air. Il est vrai qu'une différence de

Digitized by Google

$3^{mgr},5$ en sens contraire s'est produite entre les vides V et VI ; mais cette augmentation de poids est probablement due à l'introduction de quelque corps étranger dans le ballon. L'eau absorbée et retenue par les mastics des garnitures métalliques doit être aussi pour quelque chose dans ces variations.

Je considère donc comme indispensable d'opérer comme il suit :

Le vide est fait au moyen d'une machine à mercure entièrement dépourvue de fuites ainsi que toute la canalisation. J'atteins facilement une pression voisine de $0^{mm},1$. Le ballon, essuyé avec soin au moyen d'un linge légèrement humide, est porté dans la balance dont l'air est bien desséché; je ne constate l'équilibre que le lendemain. Puis le ballon est rempli à 0° du gaz étudié et taré de nouveau. Enfin je refais le vide et je rétablis l'équilibre une troisième fois. Je calcule alors le poids de gaz qui remplirait le ballon dans les conditions normales au moyen de la première et de la deuxième, puis au moyen de la deuxième et de la troisième pesée. Il est clair que le deuxième résultat *doit être plus grand* que le premier, et que l'on éliminera sensiblement l'erreur due aux essuyages en prenant la moyenne de ces deux nombres.

Il est prudent de rejeter toute expérience dans laquelle le deuxième poids se trouve notablement plus petit que le premier; car cela est dû, en général, à l'introduction de quelque poussière dans le ballon.

Dans mes expériences, la diminution de poids du ballon, après deux essuyages, a très rarement dépassé 1^{mgr} et s'est élevée, en moyenne, à $0^{mgr},3$ par essuyage. Il n'en peut résulter, sur chaque groupe de deux pesées, qu'une erreur inférieure à $0^{mgr},3$.

3° *Balance.* — La balance de précision dont je me sers peut porter 500^{gr}; j'ai pu faire des pesées à $\frac{1}{10}$ de milligramme près, en observant, au moyen d'une lunette à réticule, le déplacement de l'aiguille indicatrice sur un arc finement divisé.

Entre autres précautions prises pour que les deux bras du fléau ainsi que les deux ballons soient à la même température, j'entoure d'une feuille de zinc la cage de verre de la balance; j'en ai constaté directement l'utilité.

Il est à peine besoin d'ajouter que j'ai étalonné la boîte de poids

Digitized by Google

de précision dont je me suis servi; j'ai admis seulement la valeur absolue du poids de 20^{gr}, le plus gros de la série.

On voit qu'en résumé la somme des erreurs commises dans chaque groupe de deux équilibres, c'est-à-dire sur chaque poids de gaz, ne peut guère dépasser $0^{mgr},6$. Cela correspondrait à une erreur relative de $\frac{2}{10000}$ dans le cas de l'air, erreur assez importante. Mais si l'on groupe trois équilibres, c'est-à-dire deux pesées consécutives, l'erreur est singulièrement diminuée pour les raisons exposées plus haut, et l'on peut compter sur le $\frac{1}{10000}$, ainsi qu'il résulte de ce qui va suivre.

4° *Ballons. Compressibilité.* — Les ballons dont je me suis servi sont dépourvus de garniture métallique. Leur col est prolongé par un tube de verre muni d'un robinet soigneusement rodé. Ils ont un volume voisin de $2^{lit},3$. L'absence de mastic susceptible d'absorber plus ou moins d'eau et la diminution du poids mort compensent largement la petitesse relative de ces ballons.

Enfin, une cause d'erreur signalée déjà par Lord Rayleigh, et qui a échappé ici à Regnault, bien qu'il en ait tenu compte ailleurs, est la diminution de volume que subit le ballon quand on y fait le vide. Je l'ai mesurée directement et trouvée égale à $0^{cc},5$ environ; il faut, en conséquence, ajouter un peu plus de $0^{mgr},6$ au poids de gaz résultant des lectures brutes. Cette cause d'erreur altère assez fortement les densités des gaz beaucoup plus lourds ou plus légers que l'air, et spécialement celle de l'hydrogène.

J'ajouterai enfin que j'ai tenu compte de la petite quantité de gaz contenue dans la chambre de mon baromètre. J'ai déterminé la pression de ce gaz par un moyen que j'espère utiliser pour l'étude de la compressibilité des gaz aux faibles pressions.

II. — Résultats.

J'arrive maintenant à l'exposé de mes résultats, et je commence par ceux relatifs à l'air et à l'hydrogène, parce qu'ils présentent avec les nombres de Regnault une concordance parfaite et fournissent ainsi un contrôle précieux de mes expériences sur les autres gaz.

Je m'occuperai ensuite de l'azote et de l'oxygène pour lesquels j'ai trouvé des nombres assez différents de ceux de Regnault.

Digitized by Google

1° *Poids du litre d'air normal.* — J'ai fait six expériences au moyen d'un ballon dont j'ai déterminé avec soin la capacité intérieure par le procédé de Regnault; cette capacité est à 0° de $2^{lit},26506$ à moins de $0^{cc},1$ près, y compris le canal du robinet.

Or les poids d'air normal remplissant ce ballon se sont trouvés compris entre $2^{gr},9286$ et $2^{gr},9290$. Il convient d'y ajouter 0,0006 pour tenir compte de la contraction du ballon vide. Le poids du litre d'air normal est donc d'après cela

$$\frac{2,9288 + 0,0006}{2,26506} = 1^{gr},2933,$$

soit pour la masse du litre d'air sous la pression d'une atmosphère C.G.S. : $1^{gr},2760$.

Le nombre de Regnault corrigé de la contraction du ballon vide, et en laissant de côté les deux dernières décimales qui n'ont aucun sens est de 1,2934; mais il faut remarquer que les 9 nombres dont il est la moyenne varient de 1,2931 à 1,2937 environ, tandis que mes nombres présentent un écart quatre fois plus faible. La différence est d'ailleurs dans le sens prévu (essuyage).

2° *Densité de l'hydrogène.* — J'ai préparé ce gaz de deux manières :

α. *Par l'électrolyse d'une solution de potasse à* 30 *pour* 100. — Je fais traverser au gaz : 1° une colonne à potasse pour arrêter les matières entraînées et le sécher à peu près; 2° un tube de verre étroit, rempli de mousse de platine sur une longueur de 10^{cm} et maintenu au rouge afin de détruire le peu d'oxygène entraîné par suite de la diffusion :

3° Un barbotteur contenant une solution très concentrée de potasse puis une colonne de potasse (fondue spécialement);

4° Enfin le gaz, comme tous ceux que j'ai préparés, passe avant d'entrer dans le ballon sur de l'acide phosphorique anhydre, afin d'assurer une dessiccation parfaite. (Ce corps a été traité par un courant d'oxygène à température élevée afin de peroxyder les oxydes inférieurs du phosphore.)

Deux séries d'expériences faites avec deux ballons différents et dans l'intervalle desquelles l'appareil avait été remanié m'ont

Digitized by Google

donné pour la densité de l'hydrogène

0,06947 et 0,06949.

β. *Hydrogène préparé au moyen du zinc du commerce et de l'acide sulfurique.* — Le gaz traverse :

1° Une colonne de pierre ponce imbibée d'une solution saturée de permanganate de potasse avec excès d'alcali;

2° Une colonne de potasse;

3° Une longue colonne de cuivre incandescent;

4° Le barbotteur et le reste comme ci-dessus.

Densité de ce gaz .... 0,06947.

On voit que l'hydrogène préparé par ces deux procédés, s'il n'est pas rigoureusement pur, contient moins de $\frac{1}{50000}$ d'impuretés.

Vu l'incertitude qui règne nécessairement sur la dernière décimale, on peut admettre que la densité de l'hydrogène est 0,06947.

Le poids du litre d'hydrogène normal est donc $0^{gr},08984$ à moins de $\frac{1}{20}$ de milligramme près. C'est précisément le nombre trouvé par Regnault (correction faite) pour l'hydrogène préparé par le zinc et purifié au moyen de chlorure de mercure.

3° *Densité de l'oxygène.* — L'oxygène a été préparé par électrolyse, tantôt d'une solution de potasse, tantôt d'eau acidulée par l'acide sulfurique.

Le gaz traverse comme ci-dessus une colonne de mousse de platine incandescente.

L'expérience faite à trois reprises avec trois ballons différents, et après avoir modifié l'appareil, a donné pour la densité des nombres compris entre 1,10501 et 1,10516 et dont la moyenne est 1,10506.

Je donnerai, à titre d'exemple, une série de déterminations faites avec le même ballon que ci-dessus sur l'oxygène obtenu par électrolyse de la potasse.

Digitized by Google

Pression réduite à 0°.	Tare (simple pesée).	Tare calculée du ballon complètement vide.	Poids du gaz.	Différence des pressions.	Poids du gaz normal.
mm					
0,21...	0,0591	0,0582	3,2634	766,48	3,2358
766,69...	3,3225	»	3,2648	766,55	3,2369
0,14...	0,0577	0,0571	3,2347	759,65	3,2362
759,79...	3,2924	»	3,2351	759,62	3,2367
0,17...	0,0573	0,0566			
			Moyenne.....		3,2364

qui correspond à la densité 1,10501.

D'après Regnault, la densité de l'oxygène extrait du chlorate de potasse est 1,10563. On voit que les composés chlorés qui accompagnent ce gaz modifient notablement la densité.

4° *Densité de l'azote.* — Le procédé qui m'a paru le plus sûr et le plus commode pour préparer l'azote pur consiste à faire passer sur du cuivre porté au rouge de l'air préalablement dépouillé de la vapeur d'eau, de l'acide carbonique et des autres gaz absorbables par la potasse. Il convient, comme l'on sait, d'oxyder d'abord le cuivre pour le débarrasser des graisses et autres matières combustibles qui peuvent le recouvrir, puis de le réduire par l'hydrogène pur. Cette opération, qui a pour but principal d'éviter les produits gazeux de combustion, a en outre l'avantage de rendre le cuivre plus poreux ; mais elle a l'inconvénient de fixer sur le cuivre une certaine quantité d'hydrogène. J'ai montré (1) qu'il se forme un hydrure de cuivre dissociable au rouge vif. Il en est résulté notamment dans les expériences de Regnault que l'azote dont ce savant a pris la densité contenait de l'hydrogène (2).

Afin d'éviter la même erreur, j'ai eu le soin de réoxyder préalablement le cuivre sur une longueur de 10^{cm} du côté de la sortie du

(1) Voir *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* 27 juillet 1891.

(2) $\frac{1}{2000}$ dans les quatre premières expériences, et près de $\frac{1}{1000}$ dans les deux dernières.

De même, Dumas (composition de l'air) a recueilli en même temps que l'azote une certaine quantité d'hydrogène ainsi que de la vapeur d'eau produite par la combustion de l'hydrure de cuivre.

Digitized by Google

gaz. L'azote ne peut être considéré comme exempt d'hydrogène que si cet oxyde n'a pas été complètement réduit.

Neuf déterminations m'ont fourni pour la densité de l'azote des nombres compris entre 0,9719 et 0,9721 et dont la moyenne est 0,97203.

En raison de ce qui précède, Regnault trouve une densité trop faible 0,97137. Il est d'ailleurs assez surprenant qu'il ait admis sans discussion cette moyenne déduite de six pesées dont quatre ne varient que de 13gr,4137 à 13,4147, tandis que deux autres (13,4085 et 13,4086) présentent avec les premières un écart très notable.

Résumé.

Il ressort de ces expériences que :

1° Le poids du litre d'air normal est

1gr,2933.

2° Les densités des trois gaz que j'ai examinés sont, à moins de $\frac{1}{10000}$ près, par défaut :

Hydrogène	0,06947
Oxygène	1,1050
Azote	0,9720

III. — Composition de l'air atmosphérique.

Si l'on se reporte au calcul indiqué au commencement de cet exposé, on voit qu'en adoptant pour les densités de l'oxygène et de l'azote les nombres tels qu'ils ressortent des moyennes de mes expériences (1,10506 et 0,97203), on trouve pour la proportion centésimale de l'oxygène dans l'air les nombres 23,235 en poids et 21,026 en volume.

Bien que le dernier chiffre n'ait aucune valeur, l'erreur pouvant s'élever à une unité de l'ordre précédent, ces nombres ont été confirmés au delà de toute espérance par une méthode toute différente qui donne directement la composition en poids [1].

---

[1] Voir *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 20 juillet 1891.

Digitized by Google

Cette méthode consiste à absorber l'oxygène de l'air au moyen du phosphore. Celui-ci est contenu dans un ballon primitivement vide de gaz, que je remplis avec précaution d'air atmosphérique. Le vide est fait de nouveau après l'absorption complète de l'oxygène. On a donc immédiatement le poids de l'oxygène fixé par le phosphore et d'autre part le poids total de l'air étudié.

J'ai trouvé par cette méthode que l'air contient 23,24 pour 100 d'oxygène, ce qui coïncide parfaitement avec le résultat ci-dessus en même temps qu'avec ceux de Gay-Lussac et de Humboldt, mais présente, avec le nombre de Dumas et Boussingault, un écart de 1 pour 100. L'explication de cette erreur de Dumas résulte de ce qui précède (*voir* note de la page 234).

Remarque. — Regnault, et avant lui Dumas et Boussingault ont observé qu'un ballon essuyé avec un linge trop sec présente dans les premiers moments un excès de poids de plusieurs décigrammes, qui ne disparaît qu'au bout de plusieurs heures. Indépendamment des attractions électriques qui peuvent s'établir entre le ballon et le fond de la cage de la balance, il est certain que ce ballon électrisé se couvre de poussières et autres corps légers qui flottent dans l'atmosphère.

L'emploi d'un linge humide donne lieu à une remarque très curieuse.

Contrairement à ce que l'on pourrait attendre, si l'on introduit le ballon dès qu'il vient d'être essuyé dans l'air sec de la balance, son poids apparent augmente tout d'abord de 4^{mgr} à 6^{mgr} dans les cinq premières minutes, puis d'un nouveau milligramme dans les quinze ou vingt minutes qui suivent. A partir de ce moment où il est maximum, le poids apparent diminue lentement jusqu'au lendemain : il est alors inférieur de $0^{mgr},4$ à $0^{mgr},7$ à sa valeur maxima.

On peut donc, pour abréger (en opérant comme je l'ai fait et sur un ballon semblable), faire la pesée vingt-cinq minutes après l'introduction du ballon, et retrancher $0^{mgr},5$ du poids observé; l'erreur commise ne dépassera pas généralement $0^{mgr},2$.

Quant à l'explication du phénomène, je crois la trouver dans ce fait que la petite couche d'eau laissée sur le ballon s'évapore tout d'abord assez vite dans l'air sec, ce qui peut abaisser de plus de 1°

Digitized by Google

la température de l'air ambiant. Cet air présente alors, bien qu'humide, un excès de densité sur celui qui environne le ballon tare. De là l'excès momentané de la poussée. Cet excès diminue avec la vitesse d'évaporation, et d'ailleurs le poids réel du ballon diminue par suite de la disparition de l'eau, ce qui explique que le poids apparent passe par un maximum, etc., ainsi qu'il vient d'être rapporté.

SÉANCE DU 20 NOVEMBRE 1891.

PRÉSIDENCE DE M. VIOLLE.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 novembre est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. RAVEAU, attaché au Laboratoire d'Enseignement de la Physique à la Faculté des Sciences de Paris.

VAYSSIÈRES, Licencié ès Sciences à la Faculté des Sciences de Montpellier.

M. BOUTY a prouvé antérieurement : 1° que l'électricité ne pénètre pas à l'intérieur de la masse d'un diélectrique; 2° que si l'on charge pendant un temps t un condensateur étalon, fermé sur lui-même depuis un temps infini, ou que si l'on décharge pendant le temps t le même condensateur chargé pendant un temps infini, la quantité d'électricité fournie au condensateur ou restituée par lui a pour expression

$$A + Bt^c, \tag{1}$$

A, B et c étant des constantes; la quantité d'électricité A, fournie ou restituée pour $t = 0$, diffère très peu de la charge au bout de $0^s,1$ par exemple.

Partant de là, M. Bouty a étudié la charge ou la décharge de lames de mica qu'il a argentées par le procédé Martin, et il a reconnu que, pour une durée de charge très courte, on peut attribuer à ces lames une constante diélectrique égale à 8. Si ces lames ont été bien dépouillées de toute trace d'électrolyte et bien desséchées, la formule (1) leur est applicable : la charge C absorbée dans l'intervalle de t à $t + \theta$ est parfaitement égale à la charge D restituée dans le même intervalle; si ces précautions ont été mal observées, on a toujours $C > D$, et alors la lame conduit superficiellement.

Quand on élève la température, l'égalité des courants de charge et de décharge C et D se maintient jusqu'au voisinage de 200°. Au delà, on trouve $C > D$ et la différence $C - D$ croît avec la durée de chauffe et

Digitized by Google

d'autant plus rapidement que la température est plus haute. Le mica devient conducteur, en vertu d'une altération progressive de la couche superficielle et conserve, même à froid, une partie de la conductibilité acquise. Pour lui enlever cette conductibilité, il suffit de laver les bords de la lame à l'eau et à l'alcool et de dessécher pendant dix minutes à 140°.

Au delà de 300°, l'argenture du mica est attaquée au contact de l'air et, pour étendre les mesures à des températures plus élevées, il est indispensable de protéger l'argenture du contact de l'air par une couche suffisamment épaisse de cuivre électrolytique. On a pu ainsi atteindre 400°.

Le résultat le plus important de ces recherches, c'est que la charge absorbée *à toute température*, pour un temps t suffisamment court, peut être mise sous la forme (1) et que le coefficient A représentant la charge pour une durée nulle demeure invariable à $\frac{1}{50}$ près, dans des limites où la valeur du terme Bt^c, qui est fonction du temps, se multiplie par exemple par 600. La constante diélectrique du mica, rapportée à une durée de charge nulle, est donc une quantité très peu variable avec la température, comme la densité ou l'indice de réfraction par exemple.

En ce qui concerne la relation de Maxwell $k = n^2$, elle est très loin de s'appliquer au mica dont la constante diélectrique est au moins trois fois supérieure au carré de l'indice. De deux choses l'une : ou il faut rejeter cette loi comme fausse, ou il faut attribuer au mica une constitution que ne présentent pas les diélectriques liquides homogènes, auxquels la loi de Maxwell est approximativement applicable.

M. Bouty a proposé d'employer désormais les lames de mica argentées à la construction des étalons de capacité. On se servait précédemment de lames de mica vernies et étamées : l'étain de ces lames n'adhérant pas directement au mica, il était impossible d'éviter la présence de minces couches d'air qui, eu égard à la grandeur de la constante diélectrique du mica, équivalaient à une augmentation considérable d'épaisseur des lames ; la capacité de celles-ci était ainsi fort diminuée. De plus, cette capacité variait par l'effet de la compression, ce qui nécessitait un serrage des paquets de lames à l'aide de presses à vis. On pouvait craindre que, par l'effet de variations de température répétées, ce serrage ne se trouvât modifié et que la capacité d'un étalon ne demeurât pas invariable. Tous ces inconvénients disparaissent par l'emploi des nouveaux condensateurs à lames argentées.

M. Bouty présente à la Société deux condensateurs, l'un de un demi microfarad, l'autre de un microfarad, construits d'après ces principes par M. Carpentier. Ces appareils sont beaucoup moins volumineux et plus légers que les anciens étalons, et paraissent offrir des garanties absolues d'invariabilité.

M. Blondel a observé, dans des conditions analogues à celles signalées par M. Bouty, l'attaque de la couche d'argent provenant de la réduction de l'azotate par un composé organique. En chauffant vers 300° des creusets émaillés ou des tubes de verre argentés à froid ou à chaud, le résidu

Digitized by Google

blanchâtre ne semble pas provenir d'une attaque de l'émail ou du verre, mais d'une simple oxydation de la couche argentique qui contient probablement des éléments étrangers ; en effet, l'argenture obtenue par calcination de l'azotate ammoniacal n'est pas altérée.

Au contraire, le platine, déposé par le procédé Cailletet, attaque l'émail au rouge vif, en donnant probablement un silicate multiple.

M. Blondlot expose à la Société la méthode qu'il a employée pour mesurer la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques.

On sait que les tentatives faites pour déterminer expérimentalement la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques n'ont pas, jusqu'ici, été suivies de succès. M. Blondlot est parvenu à effectuer cette détermination à l'aide d'une méthode nouvelle dont voici le principe :

Puisque, comme l'ont montré MM. Sarrasin et de la Rive, c'est le résonateur qui détermine la longueur d'onde que l'on observe, l'équation $\lambda = VT$ doit être satisfaite si l'on y substitue à λ et à T les valeurs de la longueur d'onde et de la période propres au *résonateur* employé, et à V la vitesse de propagation des ondes; la détermination de la vitesse se ramène donc à celle de la période du résonateur et de la longueur d'onde qu'il définit.

M. Blondlot a donné au résonateur une forme particulière, afin de pouvoir déterminer avec certitude la période propre de ses oscillations; voici la description de l'un de ceux qu'il a employés.

Un condensateur est formé de deux armatures circulaires A'A'', B'B'', de 6^{cm} de rayon, et dont l'écartement est une fraction de millimètre; ces deux armatures sont reliées entre elles par un circuit rectangulaire ACDEFB, formé d'un fil de cuivre de $0^{cm},184$ de diamètre. Le côté DE a une longueur de $10^{cm},2$, et le côté CD une longueur de $6^{cm},3$. La longueur totale du circuit, 32^{cm}, est très petite par rapport à la longueur d'onde. Il en résulte que l'intensité du courant oscillatoire est sensiblement la même dans toute la longueur du circuit, et, par suite, on peut appliquer la formule donnée par Sir W. Thomson pour la décharge d'une batterie; de plus, comme le courant varie avec une rapidité extrême, on peut, suivant une remarque de M. Lippmann, négliger la résistance et écrire $T = 2\pi\sqrt{CL}$, C désignant la capacité du condensateur et L le coefficient de self-induction du circuit.

M. Blondlot mesure C en unités électromagnétiques par la méthode classique de Maxwell. Voici maintenant comment il détermine L. Le courant doit être considéré comme fermé par le déplacement diélectrique à travers l'air qui sépare les deux armatures du condensateur; ce courant peut être décomposé en courants linéaires juxtaposés : soient ds la longueur d'un élément de l'un de ces courants et i son intensité; soient de même ds' et i' la longueur et l'intensité d'un autre élément, r la distance de ces deux éléments et ε leur angle; le potentiel du courant total sur lui-même est $\iint \frac{ii'\,ds\,ds'\cos\varepsilon}{r}$,

Digitized by Google

cette somme s'étendant à tous les éléments linéaires qui constituent le courant total. M. Hertz a d'ailleurs établi expérimentalement que le courant est entièrement localisé à la surface des conducteurs. La somme précédente se calcule sans difficulté à l'aide d'une formule donnée par M. H. Poincaré (1). Ayant ainsi C et L, on en déduit la période T.

Fig. 1.

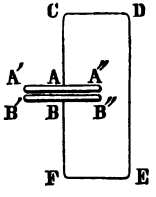
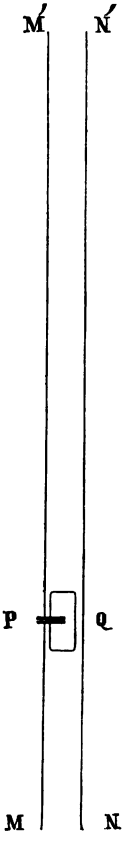


Fig. 2.



Il reste à mesurer λ. Comme MM. Sarrasin et de la Rive ont établi que λ a la même valeur dans l'air que le long de fils métalliques, il était permis d'employer ce dernier mode de propagation. A l'aide de son résonateur, qui est, à cet effet, muni d'un micromètre à étincelles formé d'une boule soudée à l'une des armatures et d'une pointe fixée à l'autre et réglable à l'aide

(1) *Électricité et Optique,* t. II, p. 156.

Digitized by Google

d'une vis, M. Blondlot recherche la position des nœuds et des ventres le long des deux fils MN, M'N' (*fig.* 2), tendus parallèlement, comme dans les expériences de MM. Sarrasin et de la Rive; le résonateur, figuré en PQ, est placé de telle façon que les deux grands côtés du circuit rectangulaire soient dans le plan des fils MN, M'N' compris entre eux et parallèlement à eux; ils en sont respectivement distants d'environ $0^{cm},5$. La distance de deux nœuds consécutifs donne $\frac{\lambda}{2}$, et, plus généralement, la distance de deux nœuds comprenant n autres nœuds donne $(n+1)\frac{\lambda}{2}$.

Le Tableau suivant contient les résultats de treize expériences.

Longueurs d'onde en mètres.	Vitesses en kilomètres par seconde.
8,94	299300
10,90	300500
11,04	304100
11,58	301400
11,60	302000
14,32	300800
16,20	298700
18,30	300700
18,32	293400
22,68	288300
25,72	295800
27,28	292700
35,36	291400
Moyenne.....	297620

On voit que les valeurs de la vitesse sont concordantes, quoique la longueur d'onde ait varié du simple au quadruple; la concordance est aussi grande que le comportait la précision de la détermination des nœuds. Les expériences ont été faites avec des résonateurs dans lesquels les dimensions du circuit rectangulaire ont varié de $6^{cm},3$ sur $10^{cm},2$ à 10^{cm} sur 40^{cm}, et le diamètre du fil de $0^{cm},184$ à $0^{cm},3$: ces quantités n'ont donc pas d'influence sur la vitesse, bien que la self-induction qui en dépend ait varié de la valeur 246,66 à la valeur 973,2. On peut conclure de ce qui précède que :

Les ondulations électriques ont une vitesse de propagation unique, indépendante de la longueur d'onde et voisine de $297\,600^{km}$ *par seconde.*

Le nombre trouvé est, au degré d'approximation des expériences, égal au rapport des unités électromagnétique et électrostatique d'électricité, comme l'indique la théorie de Maxwell, et aussi à la vitesse de la lumière. Il serait téméraire de conclure de cette égalité que les vibrations lumineuses sont de même nature que les vibrations électromagnétiques; toutefois, on ne peut méconnaître que le résultat obtenu soit favorable à cette hypothèse.

Digitized by Google

A la suite de cette Communication, M. Cornu fait observer que les expériences de M. Blondlot, jointes à celles de MM. Sarrasin et de la Rive, modifient entièrement les interprétations données primitivement par M. Hertz sur les ondulations électriques, en mettant en évidence le caractère vraiment électrostatique de l'expérience.

Il propose à la Société d'adresser à M. Blondlot ses félicitations pour les expériences dont il vient de donner la description.

Étude des propriétés diélectriques du mica;

Par M. E. Bouty (1).

I. — Études des condensateurs étalons.

1. Pour étudier le résidu d'un condensateur, il est indispensable de se placer dans des conditions d'une extrême simplicité. Je supposerai :

1° Qu'un condensateur dont les deux armatures étaient en communication depuis un temps illimité est placé, à un moment donné, dans le circuit d'une pile impolarisable et que la résistance totale de la pile et du circuit métallique est négligeable;

2° Qu'un condensateur chargé, pendant un temps illimité, par une pile constante, est fermé sur lui-même, à un moment donné, par un circuit métallique de résistance négligeable.

Je me propose de déterminer, dans les deux cas, la variation de la charge du condensateur à une époque arbitrairement choisie. Si, comme je l'ai établi (2), la lame diélectrique ne livre passage à aucun courant, toute l'électricité reçue par le condensateur pendant la charge, *quelque longue que puisse être la durée de celle-ci,* doit être restituée pendant la décharge, si le circuit du condensateur est fermé pendant un temps suffisant. Dans les deux cas que j'ai étudiés, le *résidu total* doit avoir la même valeur.

---

(1) Extrait d'un Mémoire plus étendu publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XXIV, p. 391.

(2) Voir *Journal de Physique,* 2e série, t. IX, p. 288; 1890, et *Séances de la Société de Physique,* année 1890, p. 191.

Digitized by Google

2. Les méthodes que j'ai employées reviennent à mesurer de très petites charges emmagasinées dans un condensateur de grande capacité. Je me suis servi, pour cela, de l'électromètre capillaire de M. Lippmann. Après avoir bien mouillé le tube de l'électromètre dans toute l'étendue du champ de vision par l'oscillation de la colonne mercurielle, on décharge le condensateur sur l'électromètre et on observe sur l'échelle du micromètre la position finale du mercure. On vérifie sans peine que, dans les limites du champ de vision, le déplacement n du mercure est exactement proportionnel à la différence de potentiel initiale δy à laquelle se trouve chargé le condensateur, et l'on détermine le coefficient de proportionnalité. Dans mes expériences, δy était toujours inférieur à $0^{da},015$; la précision des mesures, constante dans tout l'intervalle où j'ai opéré, peut être évaluée à $\frac{1}{50}$.

3. *Étude de la charge d'un condensateur.* — Soit A le condensateur étudié. La méthode comporte l'emploi d'un condensateur B auxiliaire, que l'on doit choisir le plus parfait possible au point de vue de l'isolement. Les condensateurs A et B sont disposés en cascade sur le circuit d'une pile impolarisable de force électromotrice E; je suppose d'abord le circuit ouvert en I; les deux armatures de B sont réunies par une dérivation m sans résistance (*fig.* 1). L'expérience se divise en trois phases :

1° Au temps 0 on ferme le circuit en I et le condensateur A se charge directement; les deux armatures de B demeurent au même potentiel.

2° Au temps θ la dérivation m est supprimée et, pendant un temps t, A ne peut plus recevoir de charge supplémentaire que par l'intermédiaire de B. Soit C la capacité de A *considérée comme fonction du temps,* X la différence de potentiel variable de ses armatures, y la différence de potentiel des armatures de B. Nous supposons toujours y assez petit pour qu'on puisse faire abstraction des fuites d'électricité dont B pourrait être le siège, et aussi du résidu formé sur B. *Nous considérons donc la capacité de* B *comme invariable* et nous la prenons égale à 1. Dans ces conditions, on doit avoir à chaque instant

$$X + y = E, \tag{1}$$

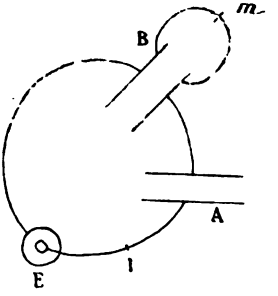
$$d(CX) = dy, \tag{2}$$

Digitized by Google

d'où l'on tire

$$\delta C = \frac{C+1}{E-y}\,\delta y. \tag{3}$$

Fig. 1.



D'ailleurs, au degré d'approximation que comportent les mesures, et eu égard à la petitesse de y, on peut se borner à écrire

$$\delta C = \frac{C+1}{E}\,\delta y \tag{3 bis}$$

et étendre cette formule à la durée entière t de cette seconde partie de l'expérience.

3° Au temps $\theta + t$ le circuit de la pile est de nouveau interrompu en I et l'on décharge B sur l'électromètre. On lit le déplacement n du mercure, on en conclut δy à l'aide du coefficient de proportionnalité ci-dessus déterminé et, par suite, δC ou, enfin, l'accroissement normal $E\delta C$ qu'aurait pris dans l'intervalle t la charge du condensateur A supposé seul dans le circuit de la pile E.

4. *Étude de la décharge.* — Le condensateur A est d'abord chargé pendant un temps très long; le condensateur B demeure fermé sur lui-même en m (*fig.* 2). On interrompt le courant en I, et aussitôt, à un instant que nous prendrons pour origine, on ferme le circuit des condensateurs en b.

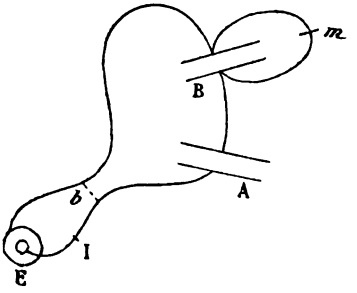
1° Pendant un temps θ, le condensateur A se décharge librement; les deux armatures de B demeurent au même potentiel.

2° Au bout du temps θ, la dérivation m est supprimée et le résidu rendu libre sur A se partage désormais entre les condensateurs A et B, proportionnellement à leurs capacités C et 1.

Digitized by Google

3° Au temps $t + \theta$, on sépare les deux condensateurs en b et on décharge B sur l'électromètre. On lit le déplacement n du mercure; on en conclut la différence de potentiel $\delta y'$ à laquelle se trouvait chargé B, ou sa charge $\delta y'$. On en déduit la charge totale

Fig. 2.



$(1 + C)\delta y'$ rendue libre sur A entre θ et $\theta + t$. Il y a lieu de remarquer que, dans cette expérience, le condensateur B se trouve chargé non plus dans le même sens que A, comme dans les expériences du paragraphe précédent, mais en sens inverse.

5. *Comparaison des courants de charge et de décharge.* — Les durées t et θ que j'ai employées pour les expériences de charge ont varié de $0'',001$ à $4000''$. Au-dessus de $5''$ et parfois même de $2''$, les interruptions et commutations nécessaires étaient effectuées à la main; mais, pour les petites durées, on a eu recours à un pendule de torsion qui les réalisait automatiquement à l'aide de contacts à mercure [1].

Voici maintenant les lois que l'expérience m'a révélées :

Première loi. — *La charge absorbée entre θ et $\theta + t$ par un condensateur qui ne fuit pas et qui s'est longuement reposé est identique au résidu rendu libre entre θ et $\theta + t$ sur le même condensateur, précédemment chargé pendant un temps indéfini et par la même pile.*

Deuxième loi. — *La charge absorbée ou résiduelle est ri-*

---

[1] Voir *Ann. de Chim. et de Phys., loc. cit.*

Digitized by Google

goureusement proportionnelle à la force électromotrice de la pile de charge.

Troisième loi. — *Les charges résiduelles au sein d'un même condensateur ne sont pas proportionnelles aux capacités.*

D'après la formule (3 *bis*), pour rendre comparables les observations relatives aux subdivisions 0, 1; 0, 2; 0,5 du condensateur principal A et à ce condensateur A tout entier (le condensateur auxiliaire B, de 1 microfarad, demeurant toujours en entier dans le circuit), il faut multiplier les nombres *n* lus directement au micromètre par les facteurs 1 + C correspondants, c'est-à-dire, respectivement, par 1,1; 1,2; 1,5; 2.

On trouve ainsi que les résidus des diverses subdivisions d'un excellent microfarad de M. Carpentier sont proportionnels aux nombres suivants :

Subdivisions du microfarad Carpentier.	Résidus.
0,1	0,104
0,21	0,220
0,22	0,301
0,5	0,375
Total.. 1,0	1,000

Pour un condensateur L. Clark Muirhead on a de même :

Subdivisions du microfarad L.-Clark.	Résidus.
0,1	0,088
0,2	0,173
0,3	0,363
0,4	0,373
Total.. 1,0	1,000

Du défaut de proportionnalité que nous venons de constater, il résulte que *les subdivisions d'un condensateur commercial en mica ne peuvent, en général, être considérées comme proportionnelles à leurs valeurs nominales que pour une seule durée de charge ou de décharge.*

Quatrième loi. — *Le résidu d'un condensateur qui ne fuit pas est égal à la somme des résidus de ses subdivisions.*

Digitized by Google

La vérification de cette loi établit que, dans les condensateurs commerciaux, la réaction des charges d'une subdivision sur les charges d'une autre subdivision est toujours négligeable.

6. *Expression empirique du résidu.* — Les résidus entre θ et $\theta + t$ du microfarad Carpentier et de ses subdivisions, pour toutes les valeurs des variables, à partir de $0^s,001$, sont suffisamment bien représentés par une formule unique, à laquelle il ne faut, d'ailleurs, attribuer qu'une valeur purement empirique

$$(4) \qquad [R]_\theta^{\theta+t} = A[(t+\theta)^c - \theta^c].$$

L'exposant c a pour valeur $0,09$; le coefficient A change d'une subdivision du condensateur à une autre et n'est pas proportionnel à la capacité (troisième loi).

Il résulte de là que le résidu total entre θ et t, inaccessible à toute mesure directe, a pour expression empirique

$$(5) \qquad R = A t^c.$$

Le résidu ainsi calculé, comparé à la charge principale, n'en est jamais qu'une fraction assez petite qu'il nous reste à déterminer.

A cet effet, on charge le microfarad étudié A pendant un temps très long, à une différence de potentiel connue $\delta y = 0^{da},005$ par exemple, et on le décharge directement sur l'électromètre. D'après la première loi, si l'observation de l'équilibre a lieu au bout de vingt-cinq secondes par exemple, la déviation n, lue sur l'électromètre, mesurera (à l'aide des mêmes unités arbitraires qui ont servi jusqu'ici à exprimer le résidu) la charge prise par le microfarad longtemps reposé, puis chargé pendant vingt-cinq secondes. Si l'on en retranche la valeur du résidu calculé par la formule (5) pour la même différence de potentiel δy, et pour une durée de vingt-cinq secondes, on aura rapporté fictivement la charge à une durée nulle, et on pourra la rapporter de même à une durée t quelconque.

J'ai pris pour unité la charge acquise par le microfarad au bout d'une seconde, et c'est à cette unité que j'ai définitivement comparé les résidus R.

En prenant pour unité de temps la seconde, j'ai trouvé pour le

Digitized by Google

coefficient A la valeur 0,0336

$$R = 0,0336\,t^{0,09}.$$

De cette formule on déduit le Tableau suivant :

t.	R.
s	
0,001	0,0180
0,01	0,0222
0,1	0,0273
1	0,0336
10	0,0412
100	0,0507
1000	0,0624

En général, quand la durée de charge est multipliée par 1000, le résidu se trouve multiplié seulement par 1,862. La charge M_0 rapportée fictivement à une durée de charge nulle est les 0,966 de la charge totale au bout d'une seconde.

9. *Effet de la résistance du circuit.* — Les formules relatives au résidu ne sont applicables aux courtes durées qu'à la condition expresse d'employer comme pile de charge une pile impolarisable de résistance très faible, et d'opérer toujours en court circuit.

Si l'on introduit dans le circuit de deux grands éléments Daniell une résistance métallique un peu considérable, on obtient pour les résidus $[R]_\theta^{\theta+t}$ des nombres trop forts, et cette circonstance se présente pour des valeurs de la résistance d'autant plus petites que θ est lui-même plus court.

Ainsi une résistance de 6000 ohms s'est trouvée excessive pour $\theta = 0^s,033$; une résistance de 4000 ohms pour $\theta = 0^s,0255$, une résistance de 2000 ohms pour $\theta = 0^s,0179$.

En employant deux petits éléments Gouy (étalons Gouy ordinaires), dont la résistance est assez considérable, on n'a pu obtenir aucune mesure acceptable pour des valeurs de θ inférieures à $\frac{1}{30}$ de seconde.

Il suit de là que l'on doit absolument proscrire l'emploi des condensateurs étalons avec de courtes durées de charge et des circuits résistants. *Les mesures obtenues dans de telles conditions peuvent être dénuées de toute signification physique.*

Digitized by Google

II. — Constante diélectrique du mica.

M. Carpentier, ayant bien voulu mettre à ma disposition les lames de mica qu'il emploie pour la construction de ses étalons, j'ai entrepris l'étude directe de ces lames, afin de rechercher, s'il est possible, de caractériser complètement leurs propriétés diélectriques à l'aide d'un ou de plusieurs coefficients. Je n'ai pas admis *a priori* l'existence d'une constante diélectrique; j'ai armé des lames de mica de diverses épaisseurs prises dans un même paquet et parfois extraites par clivage d'une même lame épaisse, et j'ai soumis chacune d'elles à une étude analogue à celle des condensateurs étalons, à l'aide des mêmes appareils et par des méthodes aussi voisines que possible de celles que j'avais employées précédemment.

1. *Méthodes de mesure.* — Ce qui distingue les expériences actuelles, c'est la petitesse de la capacité C par rapport à la capacité du microfarad auxiliaire B, que nous prendrons toujours pour unité.

Nous disposons la lame et le condensateur en cascade sur le circuit d'une pile constante, de force électromotrice E, et nous fermons le circuit pendant un temps t. Soit alors X la différence de potentiel des armatures de la lame, y celle des armatures du microfarad, on a

$$X + y = E, \tag{1}$$

$$CX = y, \tag{2}$$

d'où

$$C = \frac{y}{E - y}. \tag{3}$$

C étant très petit par rapport à l'unité, y est très petit par rapport à E; au degré d'approximation des expériences, on peut, en général, remplacer (3) par

$$C = \frac{y}{E}. \tag{3 bis}$$

Pour mesurer C, il suffit donc de décharger le microfarad sur l'électromètre. On lit le déplacement n du mercure, et, par le coef-

Digitized by Google

ficient de proportionnalité, on en conclut la valeur de la différence de potentiel y, et par suite C.

2. *Mesure de la constante diélectrique.* — L'étude des étalons a établi que la variation de capacité entre $0^s,01$ et 1^s ne dépasse pas en moyenne (¹) les

$$0,0336 - 0,0273 = 0,0063$$

de la capacité évaluée au bout d'une seconde; il y avait donc lieu de chercher si, dans les mêmes limites et au même degré d'approximation, on peut attribuer au mica une constante diélectrique invariable, c'est-à-dire s'il est possible de représenter la capacité de lames de surface utile S et d'épaisseur e quelconque par la formule

$$C = \frac{kS}{4\pi e}, \tag{4}$$

avec une valeur constante de k. L'épaisseur des lames étudiées était toujours inférieure à $0^{cm},01$, leur surface supérieure à 50^{cq}, par suite, $\frac{S}{e}$ supérieur à 5000; dans ces conditions, il est inutile de recourir à l'artifice de l'anneau de garde, et l'on a le droit d'appliquer la formule (4) en prenant pour S la totalité de la surface armée.

Les lames sont argentées par le procédé Martin; on enlève l'argent sur les bords à l'aide d'acide azotique et, par des lavages et des dessiccations répétés, on débarrasse le plus possible la surface mise à nu de toute trace d'électrolytes. Enfin on vernit les bords à la gomme laque et l'on dessèche à 140°.

J'ai d'abord constaté, conformément aux prévisions, que, pour une même lame et pour toutes les durées de fermeture de $0^s,1$ à 1^s, on obtient une déviation identique de l'électromètre. Par exemple, pour une lame dont l'épaisseur était de $50^{\mu},75$ et la surface armée de $66^{cq},41$ chargée par un élément Daniell, cette déviation avait pour valeur moyenne $n = 32,33$, d'où l'on déduit pour la capacité de cette lame, évaluée en microfarads, $0^{mf},00917$, ou, en valeur

(¹) *Voir* le Tableau de la p. 248.

Digitized by Google

électrostatique,

$$C = 0,00917 . 10^{-16} . 9 . 10^{20} = 8,253 . 10^{3};$$

on a donc, d'après la formule (4),

$$k = \frac{4\pi C e}{S} = \frac{12,566 . 8,253 . 10^{3} . 0,0050,75}{66,41} = 7,91.$$

Des mesures analogues réalisées sur des lames d'épaisseur variant de $14^{\mu},75$ à 89^{μ} ont donné :

S.	e.	k.
cq 49,50	μ 14,75	7,91
65,34	29,09	8,00
65,11	34,88	
66,41	50,75	7,61
64,15	89,00	8,09
Moyenne		7,98

Le mica auquel se rapportent ces mesures est une *muscovite* parfaitement incolore et transparente fournie par M. Carpentier. Dans une direction normale aux plans de clivage, *ce mica possède une constante diélectrique bien déterminée* pour laquelle nous adopterons le nombre 8.

On remarquera que ce nombre est plus de trois fois supérieur au carré de l'indice moyen du mica, et que, d'après ce qui précède, la constante diélectrique du mica, évaluée ici pour une durée de $\frac{1}{10}$ de seconde environ, ne diminuerait que de moins du $\frac{1}{30}$ de sa valeur, si on la rapportait fictivement à une durée nulle.

3. *Application à la construction des étalons.* — Les lames de mica employées à la construction des étalons sont armées de feuilles d'étain que l'on fait adhérer sur leurs deux faces par une couche mince de vernis à la gomme laque. En opérant ainsi dans mes premiers essais, je me suis aperçu qu'il était impossible d'arriver à des valeurs concordantes de la constante diélectrique; la capacité paraissait parfois presque indépendante de l'épaisseur, et la constante k calculée était d'autant plus grande que l'épaisseur était elle-même plus considérable.

Au reste les lames ainsi préparées augmentent de capacité

Digitized by Google

quand on les charge de poids ou qu'on les serre dans une presse à vis.

Aucun de ces effets ne s'observe sur les lames argentées.

Il est aisé de se rendre compte, *a posteriori,* de cette différence de propriétés. L'argenture est directement et parfaitement adhérente : l'étain, après la dessiccation à 140°, n'adhère pas au mica, mais bien à des granules de gomme laque, laissant entre eux une couche d'air irrégulière. S'il y a, en outre, des soufflures, c'est-à-dire des portions sans adhérence, la pression les fera disparaître ou du moins les diminuera, et l'on doit s'attendre à une forte augmentation temporaire et à une certaine augmentation permanente de la capacité; mais les granules de gomme laque résistent à la compression, et les armatures demeurent à une distance sensible du mica. Admettons, pour chacune des couches d'air, une épaisseur moyenne de 5^{μ} seulement; puisque la constante diélectrique du mica est 8, l'ensemble des deux couches équivaut électriquement à une épaisseur 80^{μ} de mica, et sa présence suffira à réduire au tiers la constante diélectrique apparente d'une lame de mica d'épaisseur égale à 40^{μ}.

Pour justifier pleinement ces conclusions, j'ai fait les expériences suivantes :

1° On prépare un cadre en paraffine, on y colle une lame de mica que l'on fait adhérer sur les bords en passant un fer chaud sur la face opposée. On obtient ainsi une petite cuve à fond de mica que l'on fait flotter sur du mercure bien sec et que l'on remplit de mercure; en d'autres termes, on réalise un condensateur en mica à armatures de mercure et sans interposition d'air.

La valeur moyenne ainsi obtenue pour k se confond, à $\frac{1}{16}$ près, avec la valeur vraie de la constante diélectrique.

2° On peut aussi conserver les armatures d'étain et rétablir la continuité entre l'étain et le mica par un liquide faiblement électrolytique, eau distillée, alcool absolu, qui se comportera ici comme un conducteur parfait.

Pour une des lames que j'ai étudiées (épaisseur $52^{\mu},7$) la moyenne des valeurs de k avec interposition d'électrolyte s'est trouvée de 8,06 et, sans interposition, de 2,25.

Il faut conclure de là que, dans la construction des étalons de

Digitized by Google

capacité montés à l'étain, on emploie beaucoup plus de mica qu'il n'est nécessaire, ce qui augmente, sans profit pour leurs qualités électriques, leur prix de revient, leur volume et leur poids (1).

4. *Étude des résidus.* — L'étude des résidus peut être réalisée, pour une lame unique, par les méthodes qui ont été appliquées aux condensateurs étalons (p. 245 à 247); mais les quantités d'électricité à mesurer étant, en général, de l'ordre du $\frac{1}{100}$ de celles auxquelles on avait affaire précédemment, il sera nécessaire de multiplier le nombre des éléments de charge. Dès lors les expériences deviennent très délicates par l'importance relative des charges parasites qui peuvent se développer sur le microfarad auxiliaire, en vertu, soit de résidus antérieurs, soit de fuites même très minimes ayant pour siège les commutateurs et interrupteurs.

Nous supposerons que l'on a affaire à une lame A récemment préparée, non encore vernie et imparfaitement desséchée. Le courant de charge C entre θ et $\theta + t$, pour des valeurs de θ supérieures à quelques secondes, est presque uniforme, c'est-à-dire que la charge recueillie par le condensateur auxiliaire B est presque proportionnelle à t.

De plus, le courant de décharge D, entre θ et $\theta + t$, transporte une quantité d'électricité qui, bien que considérable pour un résidu, se montre toujours très inférieure à la précédente, par exemple de deux à dix fois plus faible. A ces caractères et principalement *à l'inégalité des courants de charge et de décharge,* on doit juger que les bords de la lame A sont le siège d'une fuite continue d'électricité, que la couche superficielle du mica est conductrice à la manière des électrolytes.

Tout ce qui modifie l'état de la couche superficielle modifie aussi le courant de charge C et, à un moindre degré, le courant de décharge D.

A mesure que la dessiccation de la lame A fait des progrès,

---

(1) M. Carpentier a mis à l'étude la construction industrielle d'étalons en mica argenté. J'ai présenté à la Société de Physique (séance du 20 novembre 1891) deux des nouveaux condensateurs. Le plus récemment construit a pour capacité 1 microfarad et ne pèse que 1500gr. Il est enfermé dans une boîte plate (cuivre et ébonite) de 12cm de côté et de 3cm d'épaisseur.

Digitized by Google

C diminue rapidement, D plus lentement, et tous deux se rapprochent de l'égalité. L'égalité approchée de C et de D se maintient d'ailleurs, pour une même lame, dans des limites où le résidu, devenu très faible, peut encore varier au moins du simple au double.

Quand cette égalité est obtenue, on peut être certain que la formule empirique

$$(5) \qquad [R]_{\theta}^{\theta+t} = A[(t+\theta)^c - \theta^c],$$

établie (p. 247) pour le résidu des condensateurs étalons, est applicable avec des valeurs variables de A et, en général, avec $c = 0,09$.

En général, on peut arriver à réduire le résidu, évalué entre 2° et 300° à la $\frac{1}{80}$ partie de la charge environ.

Toutefois, aucun caractère *certain* ne garantit que le résidu que l'on observe est bien le plus petit possible, et je n'ai pu fixer à cet égard aucun coefficient définitif.

5. *Origine du résidu.* — D'après la manière dont on réduit les résidus, *par des opérations qui n'intéressent que les bords libres des condensateurs,* on pourrait penser que le résidu, à toutes ses phases, est aussi purement superficiel; qu'il a pour unique origine la présence de matières électrolytiques étrangères dans la couche la plus extérieure du mica. L'expérience suivante, entre autres analogues, ne paraît guère compatible avec cette hypothèse.

Une lame de mica est amenée par tâtonnements à un minimum relatif de résidu dont on détermine la valeur proportionnelle. On enlève ensuite l'argenture par places, comme l'indique la *fig.* 3, ce qui a pour double effet de diminuer la capacité et d'augmenter l'importance relative des bords : le résidu proportionnel reste du même ordre.

D'un coup de ciseau on sépare la lame en deux suivant *mm* et chacune des deux lames, après enlèvement de l'argenture le long de *mm*, peut encore être ramenée à un résidu du même ordre. On peut fendre la seconde lame suivant les lignes *p* sans modifier le résultat.

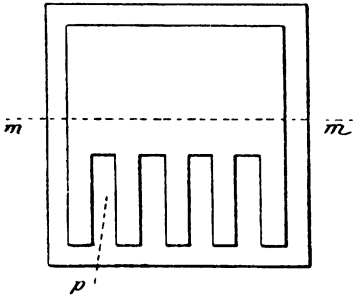
Il est donc vraisemblable que les très faibles résidus appartiennent, au moins partiellement, à la masse du mica, et consti-

Digitized by Google

tuent *une sorte d'élasticité électrique résiduelle,* comme je l'ai indiqué dans un Mémoire antérieur [1].

6. *Effet de la température.* — Il était particulièrement intéressant de savoir ce que deviennent la constante diélectrique et le résidu quand on fait varier la température dans des limites très larges.

Fig. 3.



La lame à étudier est supportée par des cales en porcelaine, dans une petite étuve en cuivre de Wiesnegg, à double parois, chauffée par deux forts becs Bunsen et munie d'un régulateur. Un thermomètre de Baudin en verre recuit, dont le réservoir est au niveau de la lame, indique la température, qui peut être maintenue sensiblement fixe à un point quelconque entre 100° et 400°. Des fils de platine appuyés sur les deux faces de la lame et protégés par des tuyaux de pipe établissent la communication des armatures avec le circuit extérieur.

De 100° à 300° on ne rencontre pas de difficultés bien graves; mais, au delà de 300°, l'argenture est rapidement attaquée au contact de l'air; elle se transforme en une couche translucide, blanchâtre, insoluble dans l'eau, dont la production modifie absolument les propriétés superficielles du mica; au reste, la lame est ainsi promptement désarmée, ce qui met fin à l'expérience.

Pour aller plus loin, j'ai dû protéger l'argenture par une couche de cuivre électrolytique, ce qui atténue les inconvénients sans

---

[1] *Journal de Physique*, 2e série, t. IX, p. 288.

Digitized by Google

toutefois les supprimer. J'ai pu ainsi pousser les mesures jusqu'au voisinage de 400°.

Nous distinguerons les résultats relatifs à la conductibilité superficielle, aux résidus et à la constante diélectrique.

a. Conductibilité électrique. — De 15° à 200° environ, on constate l'égalité à peu près parfaite des courants C et D de charge et de décharge. Au delà, cette égalité ne subsiste pas, c'est-à-dire que le condensateur fuit et que la lame est devenue conductrice, soit par sa surface, soit à travers son épaisseur, soit à la fois des deux manières.

Il est difficile de se prononcer sur l'existence d'une conductibilité propre du mica (à travers sa masse) au-dessous de 400°; mais on peut être certain que, dans ces limites, la conductibilité superficielle est largement prépondérante. Voici, en effet, ce que l'on observe :

Au-dessus de 200°, la conductibilité résultante à une température fixe donnée croît assez rapidement avec le temps de chauffe, ce qui révèle un changement d'état dont il reste à déterminer le siège. Or, si on laisse refroidir la lame, elle demeure conductrice à la température ordinaire; mais il suffit de laver les bords au pinceau, avec de l'alcool, puis de dessécher quelques minutes à 140° pour rendre à la lame ses propriétés primitives. L'altération du mica est donc purement superficielle.

Rappelons d'ailleurs qu'au-dessus de 300° l'argenture est attaquée et l'altération superficielle devient manifeste. En même temps, la conductibilité croît dans un rapport énorme. Si l'on retarde l'altération de l'argenture par le cuivrage, la conductibilité fait aussi des progrès moins rapides. Cette altération et cette conductibilité paraissent absolument corrélatives.

b. Résidus. — De 0° à 200°, c'est-à-dire tant que les courants de charge et de décharge sont égaux, la valeur du résidu est nettement déterminée. Quand cette égalité cesse d'avoir lieu et que la lame conduit superficiellement, le courant de charge C est supérieur, le courant de décharge D inférieur au résidu R que l'on observerait si l'on pouvait supprimer la conductibilité et que nous nommerons *le résidu vrai,* car, si une partie de C fuit par les bords de la lame et ne contribue pas à former R, une partie de R

Digitized by Google

fuit aussi par les bords pendant l'intervalle où la lame met ce résidu en liberté, et ne se retrouve pas dans D.

Mais, d'après ce que nous savons de la marche du résidu, on peut prévoir, et l'expérience confirme, que le rapport $\frac{C-D}{R}$ des quantités d'électricité *conduite superficiellement* et *absorbée* tend rapidement vers zéro avec la durée t de la charge. La moyenne $\frac{C+D}{2}$ représentera donc le résidu avec une approximation d'autant plus grande que la durée t sera elle-même plus petite. De 200° à 300°, on obtient sans peine la valeur du résidu même par des contacts effectués à la main. Au delà, il devient nécessaire d'avoir recours à des observations pendulaires.

En résumé, on trouve qu'à toute température le résidu vrai R est représenté par une formule empirique

$$[R]_{\theta}^{\theta+t} = A[(t+\theta)^c - \theta^c],$$

analogue à celle qui convient à la température ordinaire; mais, tandis qu'*à froid* la valeur de c la plus convenable est, en général, 0,09, on a toujours, au-dessus de 100°, $c = 0,4$ (¹).

Malgré l'analogie des formules empiriques, la marche générale du résidu est très différente à la température ordinaire et aux températures supérieures à 100°. On s'en convaincra par l'examen du Tableau suivant, dans lequel on a pris pour unité la valeur du résidu formé au bout de $0^s,001$:

	R.	
t.	$c = 0,09$.	$c = 4$.
$0^s,001$	1	1
0,01	1,230	2,512
0,1	1,513	6,310
1	1,862	15,85
10	2,291	39,81
100	2,819	180,00
1000	3,417	251,2
$t = 2^s$, $t + \theta = 300^s$	1,244	134,3

(¹) On n'a pas réalisé de mesures pour les températures comprises entre la température ordinaire et 100°.

Digitized by Google

Par exemple, si l'on a mesuré le résidu entre 2^s et 300^s et si l'on veut en déduire le résidu formé au bout de $0^s,001$, il faut, dans le premier cas, diviser par 1,237 et, dans le second, par 134,3. Cette remarque est importante au point de vue de la recherche de la constante diélectrique; elle établit que, malgré la grandeur que possèdent à haute température les résidus à longue période, la charge totale pour une durée voisine du millième de seconde diffère toujours fort peu de la charge limite rapportée fictivement à une durée nulle.

De 15° à 380°, le résidu (évalué entre 2^s et 300^s) peut se trouver multiplié par plus de 600.

c. Constante diélectrique. — D'après ce qui précède, la mesure de la constante diélectrique, rapportée fictivement à une durée nulle, ne présente pas de difficultés graves, même au voisinage de 400°.

En bornant l'approximation à $\frac{1}{50}$, il suffira de mesurer la charge de la lame pour les contacts les plus courts que l'on peut produire à la main jusque vers 200°, et pour des contacts de l'ordre du 200e au 500e de seconde réalisés à l'aide du pendule jusqu'à 300. La lecture faite à l'électromètre ne diffère pas de celle que l'on obtient pour les très courtes charges, à la température ordinaire. De 15° à 300°, la constante diélectrique ne varie donc pas de la $\frac{1}{50}$ partie de sa valeur.

De 300° à 400° il est nécessaire de faire, pour une même température, une série d'observations pendulaires, pour des durées variant par exemple de $0^s,005$ à $0^s,15$. Le résultat de ces observations se représente en fonction du temps t par une formule empirique

$$C = B + A t^{0,4}.$$

La limite B, calculée pour une durée nulle, se confond, au degré d'approximation des mesures, avec la charge à courte durée et à la température ordinaire.

7. *Conclusions générales.* — Ainsi, par ces expériences, *la constante diélectrique du mica rapportée fictivement à une durée nulle* se révèle à nous comme un élément d'une remarquable fixité. Dans des limites où la surface altérée du mica devient nette-

Digitized by Google

ment conductrice, où le résidu récupérable augmente jusqu'à atteindre plusieurs centaines de fois sa valeur initiale, cette constante conserve sa valeur à $\frac{1}{50}$ près. La constante diélectrique appartient donc au groupe de propriétés spécifiques que la température altère peu, comme la densité, comme l'indice de réfraction auquel la théorie de Maxwell la rattache.

En ce qui concerne la relation de Maxwell $k = n^2$, il ressort de l'ensemble de ce travail qu'elle ne s'applique pas au mica. On objectera qu'elle se vérifierait peut-être pour des durées très inférieures au millième de seconde. Mais alors comment expliquer le double fait expérimental de l'invariabilité de k *tel que je l'ai mesuré* et de l'énorme variation du résidu avec la température, dans les mêmes limites?

Il serait plus logique d'imaginer que le mica n'est pas un diélectrique homogène à la manière des liquides purs; par exemple qu'il est constitué par des lamelles diélectriques parallèles aux plans de clivage, séparées par des lamelles électrolytiques; ou encore que des globules électrolytiques sont irrégulièrement disséminés dans sa masse. Il me paraît encore plus sage d'accepter purement et simplement les faits et d'en réserver l'explication jusqu'à ce que des expériences analogues aux précédentes aient été réalisées pour un nombre suffisant de substances.

Je me propose d'étendre incessamment mes mesures aux liquides doués d'une certaine conductibilité électrolytique.

Détermination expérimentale de la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques;

Par M. R. Blondlot.

M. Hertz, à qui l'on doit d'avoir établi expérimentalement l'existence des ondulations électromagnétiques, a été, comme l'on sait, moins heureux lorsqu'il a cherché à démontrer que leur vitesse de propagation dans l'air est précisément égale à la vitesse de la lumière. Le fait de la résonance multiple, découvert par MM. Sar-

Digitized by Google

rasin et de la Rive a, comme l'a montré M. Cornu [1], rendu incertain le principe même de la méthode employée par M. Hertz; de plus, M. H. Poincaré a signalé l'omission du facteur $\sqrt{2}$ dans la valeur de la période [2].

Plus récemment, M. Lecher, qui a découvert un procédé très exact pour mesurer les longueurs d'ondes électromagnétiques, a cherché à résoudre la question par une méthode fondée sur ce procédé [3]. Malheureusement, MM. Cohn et Heerwagen ont constaté depuis [4] que les expériences de M. Lecher sont fondées sur une théorie inexacte, que c'est uniquement par hasard qu'elles l'ont conduit à assigner aux ondes électriques une vitesse de propagation égale à celle de la lumière, et qu'en suivant la méthode de M. Lecher on obtient, suivant les conditions de l'expérience, des valeurs très différentes de la vitesse. La question restait donc entière quand j'ai entrepris le présent travail.

Je vais d'abord indiquer la suite des idées qui m'ont conduit à la méthode que j'ai employée pour étudier la vitesse de propagation des ondes électriques.

Puisque, comme l'ont montré MM. Sarrasin et de la Rive, c'est le résonateur qui détermine la longueur d'onde qu'on observe, l'équation $\lambda = VT$, qui relie la longueur d'onde λ à la vitesse de propagation V et à la période T, doit être vérifiée si l'on substitue à λ et à T les valeurs de la longueur d'onde et de la période propres au résonateur employé, et à V la vitesse de propagation des ondes.

Les observations classiques de N. Savart sur les interférences produites par la réflexion d'une onde sonore sur une surface plane dans un milieu indéfini nous offrent un cas tout pareil [5]. Savart a en effet reconnu que, si l'on explore à l'aide d'un résonateur le champ sonore dû à un bruit complexe, tel que celui de la mer, d'une voiture roulant sur le pavé, d'une chute d'eau, etc., on observe une série de nœuds dont l'intervalle est la moitié de la lon-

---

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CX, p. 75; 1890.

(2) *Ibid.*, t. CXI, p. 322; 1890.

(3) *Wiener Sitzungsberichte*, t. XCIX, p. 340; 1890.

(4) *Wiedemann's Annalen*, t. XLIII, p. 344.

(5) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. VII, p. 1068.

Digitized by Google

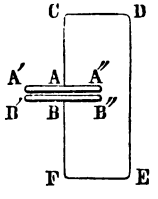
gueur d'onde du son propre du résonateur employé; autrement dit, pour chaque résonateur, l'équation $\lambda = VT$ est satisfaite si l'on y substitue, à V la vitesse du son, à T la période propre au résonateur, et à λ le double de l'internœud trouvé en explorant ce champ avec le résonateur.

Appliquant cette proposition au cas de ce que j'appellerai le *bruit électrique*, produit par l'excitateur de Hertz, on voit que, pour connaître la vitesse de propagation des ondes électriques, il suffit de déterminer, d'une part, la période T du résonateur, d'autre part la longueur d'onde λ définie par ce dernier. Tel est le programme que je me suis proposé de remplir.

Après avoir essayé infructueusement de mesurer T par l'expérience, j'ai tourné la difficulté en construisant le résonateur de telle façon que l'on pût déterminer à coup sûr sa période par un calcul s'appuyant sur les lois les mieux établies de l'électromagnétisme. Je vais décrire l'un de ces résonateurs.

Un condensateur est formé par deux armatures circulaires en laiton A'A'', B'B'' (*fig.* 1), de 6^{cm} de rayon, et dont l'écartement

Fig. 1.



est une fraction de millimètre; ces deux armatures sont reliées entre elles par un circuit rectangulaire ACDEFB, formé d'un fil de cuivre de $0^{cm},184$ de diamètre, dont les extrémités A et B sont implantées près des bords des armatures; le côté DE a une longueur de 20^{cm}, le côté DC une longueur de 10^{cm}. L'épaisseur du condensateur, armatures et diélectriques, étant 1^{cm}, la longueur totale est 59^{cm}. Cette longueur étant très petite par rapport à la longueur d'onde λ, comme la mesure de λ l'a confirmé ultérieurement, il en résulte que, lorsque le résonateur fonctionne, *l'intensité du courant oscillatoire est sensiblement la même dans toute la longueur du circuit.*

En conséquence, on peut appliquer au résonateur la formule

Digitized by Google

donnée par Sir W. Thomson pour la décharge oscillatoire d'une batterie; comme M. Lippmann a montré d'autre part que, dans le cas d'oscillations très rapides, on peut négliger la résistance, la formule devient, dans le cas présent, en désignant par C la capacité du condensateur, et par L la self-induction du circuit

$$T = 2\pi\sqrt{CL}.$$

On a donc à déterminer C et L en unités électromagnétiques. La signification précise de C est la suivante : c'est la charge que prend l'une des armatures du condensateur lorsqu'elle est portée au potentiel $+\frac{1}{2}$, l'autre étant au potentiel $-\frac{1}{2}$, les potentiels étant, bien entendu, mesurés en unités électromagnétiques.

Pour mesurer cette capacité, j'ai employé la méthode, aujourd'hui classique, donnée par Maxwell dans le second volume de son *Traité sur l'électricité et le magnétisme,* n° 775. Afin d'obtenir la valeur précise de C définie plus haut, on employait une pile composée d'un nombre pair de couples, dont le milieu était réuni au sol, ou bien, ce qui revient au même, on opérait en mettant à la terre l'une des armatures et corrigeant ultérieurement le résultat à l'aide d'une seconde expérience [1]. On retranchait la capacité des fils de communication mesurée par une expérience spéciale.

Reste à déterminer la self-induction L du circuit. Remarquons d'abord que le courant doit être considéré comme fermé, grâce au déplacement électrique qui se produit dans le diélectrique entre les deux lames du condensateur. Ce courant peut être décomposé en courants linéaires juxtaposés; soit ds la longueur d'un élément d'un de ces courants et i son intensité; soient de même ds' et i' la longueur et l'intensité d'un autre élément de courant, r la distance de ces deux éléments et ε leur angle, le potentiel total du courant sur lui-même est

$$\iint \frac{ii'\,ds\,ds'\cos\varepsilon}{r},$$

cette somme s'étendant à tous les éléments linéaires constituant le courant total. Voici comment je calcule cette somme :

---

[1] *Voir* Cohn et Heerwagen, *loc. cit.*, p. 355.

Digitized by Google

Je rappellerai d'abord que M. Hertz a établi expérimentalement que des courants aussi rapides que ceux qui se produisent ici sont entièrement localisés à la surface des conducteurs, dans lesquels ils ne pénètrent pas à une profondeur appréciable. Les deux éléments ds et ds' qui entrent dans un terme de la somme appartiennent soit au même segment rectiligne du fil, soit à deux segments différents.

Considérons d'abord le premier cas; la somme des termes qui lui correspond se trouve toute faite dans le cours de M. H. Poincaré (*Électricité et Optique,* t. II, p. 156); c'est en désignant par l et d la longueur et le diamètre du segment cylindrique considéré, et l'intensité du courant total étant supposée égale à l'unité électromagnétique

$$2l\left(\mathrm{L}\,\frac{4l}{d}-1\right);$$

on aura ainsi cinq termes pour les segments AC, CD, DE, EF, FB, et en ajoutant les résultats, on obtiendra toute la portion de l'intégrale double se rapportant au cas où le ds et le ds' entrant dans un terme se trouvent sur le même segment rectiligne.

Considérons maintenant le second cas; si ds et ds' appartiennent à deux segments perpendiculaires entre eux, $\cos\varepsilon = 0$ et les termes correspondants de l'intégrale sont nuls; restent les couples de segments parallèles

CD, EF, pour lequel $\cos\varepsilon = -1$,
AC, DE, »
FB, DE, »
AC, FB, pour lequel $\cos\varepsilon = +1$.

Le diamètre du fil étant très petit par rapport aux côtés du rectangle, on peut, sans erreur sensible, considérer dans le calcul de ces sommes les fils comme réduits à leurs axes. Les calculs, quoique longs, s'effectuent alors sans difficulté; je ne les reproduirai pas ici. On n'a pas à tenir compte des courants qui ont leur siège dans le condensateur lui-même, car le flux d'électricité y est tellement épanoui que la portion d'intégrale qui s'y rapporte ne peut être qu'extrêmement petite.

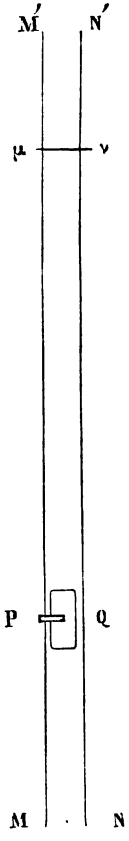
Connaissant ainsi C et L et, par suite, la période T, on n'a plus qu'à mesurer la longueur d'onde λ déterminée par le résonateur

Digitized by Google

pour en déduire la vitesse de propagation des ondes de longueur λ. Comme MM. Sarrasin et de la Rive ont établi, expérimentalement, que la vitesse de propagation des ondes est la même dans l'air que le long de fils métalliques (¹), j'ai employé ce dernier mode de propagation.

Pour cela, deux fils de cuivre horizontaux MN, M'N' (*fig.* 2),

Fig. 2.



d'environ 25^m de longueur, sont tendus parallèlement de façon que leur distance excède d'environ 1^{cm} le côté CD du circuit rectangulaire du résonateur; un pont $\mu\nu$ en fil de cuivre, mobile le long des

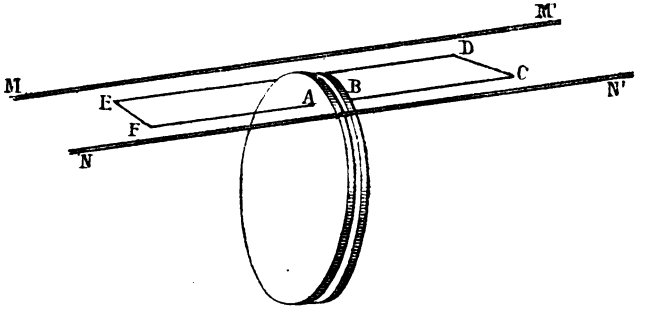
(¹) *Ann. des Sc. phys. et nat.*, t. XXIII, p. 557; 1890.

Digitized by Google

fils parallèles, sert à établir une communication entre eux à une distance quelconque des extrémités M et N; on a ainsi un circuit M$\mu\nu$N, terminé aux extrémités M et N. Le long de ce circuit on envoie des ondes électriques très rapides à l'aide du dispositif employé par M. Hertz et par MM. Sarasin et de la Rive; l'excitateur est disposé au delà de MN (¹).

Le résonateur est installé à environ 10^m de M'N' vers PQ, il est fixé à l'aide d'un support isolant approprié de façon que les deux grands côtés DE et CF du circuit rectangulaire soient dans le plan des fils parallèles, compris entre eux et parallèle à eux : ils en sont distants d'environ $0^{cm},5$. Afin de pouvoir placer le circuit rectangulaire entre les fils parallèles, sans être gêné par le condensateur, on a disposé ce circuit de façon que le rectangle, dont le plan est normal au résonateur, coupe celui-ci suivant une corde, comme le représente la *fig.* 3.

Fig. 3.



Le résonateur est muni d'un petit micromètre à étincelles, formé d'une boule soudée à l'une des armatures et d'une pointe fixée à l'autre; la distance explosive peut être réglée à volonté à l'aide d'une vis.

L'appareil ainsi disposé, plaçons le pont à quelques décimètres du résonateur, entre celui-ci et M'N', puis faisons fonctionner la bobine de l'excitateur. Aussitôt un flux brillant d'étincelles jaillit

(¹) En réalité, j'ai employé la plupart du temps, pour transmettre les ondulations, un autre procédé que je décrirai ailleurs; du reste, dans les expériences présentes, ce procédé donne exactement les mêmes résultats que celui de M. Hertz.

Digitized by Google

au micromètre du résonateur; si l'on éloigne peu à peu le pont, les étincelles diminuent d'éclat, puis finissent par disparaître; si l'on continue à éloigner le pont, les étincelles reparaissent au bout de quelques centimètres, puis deviennent de plus en plus brillantes. Il y a ainsi un intervalle dans lequel on peut déplacer le pont sans qu'il y ait d'étincelles. Resserrons les limites de cet intervalle en réglant la distance explosive, puis prenons leur moyenne : soit $\mu_1 \nu_1$ la position du pont ainsi déterminée, la longueur $P\mu_1\nu_1Q$ est, comme l'ont établi MM. Sarrasin et de la Rive, la moitié de la longueur d'onde propre au résonateur.

En divisant la valeur de λ ainsi obtenue par la valeur de T déterminée comme on l'a vu plus haut, on a la vitesse de propagation pour la longueur d'onde employée.

J'ai employé successivement quatre résonateurs, que je désignerai par des numéros d'ordre, et dont je vais donner les dimensions :

I. Condensateur de 6^{cm} de rayon; diamètre du fil $0^{cm},184$; côtés du rectangle $6^{cm},3$ et $10^{cm},2$; les grands côtés parallèles aux fils MN, M'N'; $L = 246,66$.

II. Condensateur de 6^{cm} de rayon; diamètre du fil $0^{cm},184$; côtés du rectangle 10^{cm} et 20^{cm}; les grands côtés parallèles aux fils MN, M'N'; $L = 518,2$ (c'est le résonateur qui a été pris comme exemple dans la description).

III. Condensateur de 6^{cm} de rayon; diamètre du fil $0^{cm},3$; côtés du rectangle 10^{cm} et 20^{cm}; les grands côtés parallèles aux fils MN, M'N'; $L = 460$.

IV. Condensateur de 10^{cm} de rayon; diamètre du fil $0^{cm},22$, côtés du rectangle 10^{cm} et 40^{cm}; les grands côtés parallèles aux fils MN, M'N'; $L = 973,2$.

Chacun de ces quatre résonateurs pouvait servir à un nombre illimité d'expériences différentes, car on pouvait faire varier la capacité C en écartant plus ou moins les armatures du condensateur; ces armatures étaient maintenues à la distance choisie par quatre cales formées d'un fragment de baguette de verre étirée à la lampe et collées avec de l'arcanson.

Voici les résultats de onze expériences rangées suivant les longueurs d'onde croissantes :

Digitized by Google

Numéro du résonateur.	Longueur d'onde.	Vitesse.
	m	km
I.....	8,94	299300 par seconde
I.....	11,04	304100 »
I.....	11,58	301400 »
II.....	14,32	300800 »
II.....	16,20	298700 »
III.....	18,30	300700 »
II.....	18,32	293400 »
II.....	22,68	288300 »
III.....	25,72	295800 »
II.....	27,28	292700 »
IV.....	35,36	291400 »

J'ai encore varié l'expérience de la façon suivante : après avoir déterminé une première position $\mu_1\nu_1$ du pont produisant l'extinction du résonateur, j'ai éloigné ce pont de façon à déterminer une seconde position $\mu_2\nu_2$ produisant une nouvelle extinction : la longueur $P\mu_2\nu_2Q$ est alors égale à $3\frac{\lambda}{2}$; on obtient de même une troisième position du pont donnant $5\frac{\lambda}{2}$, et ainsi de suite. En employant pour cette expérience le résonateur I, j'ai trouvé pour la longueur d'onde, à l'aide de la première position du pont $11^m,04$, ce qui donne pour la vitesse 304100 (c'est la seconde expérience du Tableau), et à l'aide de la seconde, $10^m,90$, ce qui donne pour la vitesse 300500. En donnant au même résonateur une capacité un peu plus grande, j'ai trouvé, à l'aide de la première position du pont $11^m,58$ pour la longueur, ce qui donne pour la vitesse 301400 (c'est la troisième expérience du Tableau), et à l'aide de la seconde $11^m,60$, ce qui donne pour la vitesse 302000; la troisième position a donné une troisième valeur de la longueur d'onde que, par mégarde, je n'ai pas notée, mais qui, j'en ai le souvenir certain, s'accordait parfaitement avec les deux premières.

On voit que les valeurs de la vitesse offrent une grande concordance, quoique les longueurs d'onde aient varié du simple au quadruple : la concordance est aussi grande que le comporte le degré de précision dans la détermination de la position du pont pour laquelle l'extinction a lieu. Le Tableau montre aussi que les dimensions du circuit rectangulaire sont sans influence sur la

Digitized by Google

valeur de la vitesse et qu'il en est de même du diamètre du fil, quoique la self-induction soit une fonction de ces quantités. De plus, j'ai fait varier dans une large mesure les dimensions de l'excitateur primaire sans observer une variation de la longueur d'onde.

De tout ce qui précède on peut conclure que : *les ondulations électriques ont une vitesse de propagation unique, indépendante de la longueur d'onde, et que cette vitesse a une valeur voisine de* 297600^{km} *par seconde,* moyenne des treize déterminations rapportées.

D'après la théorie de Maxwell, la vitesse de propagation des ondes électriques doit être égale au rapport de l'unité électromagnétique à l'unité électrostatique d'électricité.

La détermination de ce rapport a été l'objet de nombreux travaux de précision ; voici les résultats des plus récents, qui semblent les plus exacts :

Ayrton et Perry.....	296000×10^5
J. Thomson.....	296300×10^5
Himstedt.....	300800×10^5
Sir W. Thomson.....	300400×10^5
E.-B. Rosa.....	300000×10^5
Rowland.....	298200×10^5
Pellat.....	300900×10^5

On voit que l'écart entre la valeur de la vitesse qui résulte de mes expériences, 297600×10^5 centimètres par seconde, et ces déterminations, n'est pas plus grand que les différences qui existent entre quelques-unes d'entre elles. Les prévisions de Maxwell sont ainsi entièrement vérifiées par l'expérience. En même temps, la légitimité de l'application de la formule $T = 2\pi\sqrt{CL}$ aux résonateurs que j'ai employés se trouve confirmée *a posteriori*.

Afin de ne pas interrompre l'exposé de mes expériences et de leurs résultats, j'ai passé sous silence un certain nombre de détails et de particularités sur lesquelles je vais maintenant revenir.

Une première difficulté est la suivante : la région où se trouve le pont est trop éloignée de celle qu'occupe le résonateur pour qu'une même personne puisse à la fois observer l'étincelle et déplacer le pont, à moins d'employer un mécanisme compliqué. On eût pu, il est vrai, laisser le pont immobile et déplacer le résona-

Digitized by Google

teur, mais les secousses qui se produisent lors de cette translation dérèglent presque infailliblement le micromètre à étincelles : les expériences en sont rendues plus longues et moins précises. Il est préférable d'opérer à deux : une personne déplace le pont et une autre observe l'étincelle; cette dernière tient à la main un bâton, avec lequel elle frappe sur le parquet des coups répétés, d'autant plus forts et plus fréquents que le flux d'étincelles est plus vif; ce bruit donne à la personne qui manie le pont une représentation fidèle des variations de l'étincelle : on arrive ainsi à une détermination précise des limites de l'extinction.

J'ai été aidé dans ces expériences minutieuses par trois collaborateurs habiles et dévoués, MM. A. Perot, J. Colin et M. Dufour, qui ont bien voulu aussi se charger d'une grande partie des calculs numériques; je leur exprime ici mes bien sincères remerciements.

Une précaution importante consiste à déterminer les limites par l'extinction et non par le rallumage : leur intervalle est ainsi plus resserré, grâce à ce que l'échauffement produit par l'étincelle en facilite la prolongation.

Le fait capital de la résonance multiple, découvert par MM. Sarrasin et de la Rive, n'exclut pas toute influence de l'excitateur sur la résonance : cette influence consiste dans le plus ou moins de netteté des maxima et des minima de l'étincelle secondaire, selon que l'excitateur et le résonateur sont plus ou moins près d'être d'accord. Par exemple, le résonateur I, avec la capacité qu'il avait dans la première expérience du Tableau, donnait à peine quelques étincelles, sans maxima ni minima marqués, sous l'influence d'un excitateur de grandes dimensions, qui, au contraire, donnait avec les résonateurs II, III et IV de bonnes déterminations. Ce fait a déjà été remarqué par MM. Cohn et Heerwagen [1]. Pour faire des déterminations précises, il est important de chercher empiriquement pour chaque résonateur les dimensions de l'excitateur qui donnent les limites les plus rapprochées; du reste, l'accord n'a pas besoin d'être complet : comme je l'ai dit précédemment, il existe une grande latitude à ce sujet.

Voici encore une particularité intéressante : lorsqu'on est loin

---

[1] *Loc. cit.*, p. 370.

Digitized by Google

de l'accord, les deux limites de la disparition de l'étincelle ne sont pas également nettes; si l'excitateur a une période trop longue, la limite supérieure de la longueur d'onde est plus franche que l'autre; s'il a une période trop courte, c'est la limite inférieure qui est mieux accentuée. On est guidé par là quand on recherche les dimensions convenables de l'excitateur; une fois celles-ci obtenues, non seulement l'intervalle de disparition de l'étincelle est très petit, mais, de plus, les deux limites présentent la même netteté. Il faut remarquer que c'est seulement lorsque cette symétrie dans la netteté existe que l'on est en droit de prendre le milieu des positions limites d'extinction pour la position du minimum; lorsqu'il y a dissymétrie, il semble que le minimum soit plus près de la limite la plus nette que de l'autre. Je n'ai étudié ces questions incidentes que dans ce qu'elles avaient d'intéressant pour le but principal que je me proposais; elles mériteraient certainement une étude spéciale.

Enfin, j'ai vérifié que le diamètre des fils parallèles est sans influence et j'ai reconnu que leur longueur totale est indifférente, à condition qu'ils soient assez longs pour que le résonateur ne soit pas tout près de l'excitateur.

La méthode que j'ai employée pour déterminer la vitesse de propagation des ondes électriques repose uniquement sur des faits expérimentaux : elle est indépendante de toute théorie de la résonance; il y a néanmoins un intérêt capital à constater que cette théorie, telle qu'elle a été établie par MM. H. Poincaré d'une part et V. Bjerknes d'autre part, confirme à son tour le fondement de ma méthode. MM. H. Poincaré et V. Bjerknes ont établi mathématiquement, chacun de son côté, que, si l'amortissement de l'excitateur est très grand par rapport à celui du résonateur, il doit se produire un système de nœuds et de ventres correspondant à la période d'oscillations propre au résonateur ([1]). Or, des expériences électrométriques ont montré à M. V. Bjerknes que le décrément logarithmique est, pour l'excitateur 0,26, et pour

---

([1]) H. Poincaré, *Sur la résonance multiple des oscillations hertziennes* (*Archives des Sc. phys. et nat.*, t. XXV, p. 609; 1891). — V. Bjerknes, *Ueber die Erscheinung der multiplen Resonanz electrischer Wellen* (*Wiedemann's Annalen*, Bd. XLIV, p. 99; 1891).

Digitized by Google

le résonateur 0,002 seulement [1]; la condition ci-dessus est donc remplie. Par conséquent, l'application au résonateur de l'équation $\lambda = VT$ se trouve entièrement justifiée. Le mécanisme de la production des nœuds et des ventres, dans mes expériences, est vraisemblablement tout à fait analogue à celui que M. V. Bjerknes indique pour le cas de la réflexion contre une surface plane dans un milieu indéfini [2]. Chaque protubérance d'une onde excitatrice communique deux impulsions au résonateur : l'une à l'aller par l'un des fils, l'autre par l'autre fil, après qu'elle a franchi le pont; la seconde impulsion renforce ou annule l'effet de la première, selon que le résonateur a, dans l'intervalle, accompli un nombre pair ou impair de demi-oscillations. Donc le résonateur sera dans un état vibratoire très fort ou très faible, selon que la longueur $P\mu\nu Q$ sera un multiple pair ou impair de la demi-longueur d'onde, qui correspond à ses vibrations propres.

Résumé et conclusions. — J'ai mesuré la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques à l'aide d'une méthode basée uniquement sur l'expérience et sur les lois les mieux établies de l'électromagnétisme; j'ai trouvé pour cette vitesse une valeur indépendante de la longueur d'onde, et égale à 297600^{km} par seconde.

Cette valeur est, au degré d'approximation des expériences, égale au rapport des unités électromagnétique et électrostatique d'électricité; elle est aussi égale, au même degré d'approximation, à la vitesse de la lumière.

Il serait téméraire de conclure de cette égalité que les vibrations lumineuses sont un cas particulier des vibrations électromagnétiques; toutefois, on ne peut méconnaître que le résultat obtenu soit favorable à cette hypothèse.

---

(1) V. Bjerknes, *Ueber die Dämpfung schnellen electrischen Schwingungen* (*ibid.*, p. 89).

(2) *Loc. cit.*, p. 93.

Digitized by Google

SÉANCE DU 4 DÉCEMBRE 1891.

PRÉSIDENCE DE M. VIOLLE.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 novembre est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. TOMBECK, Licencié ès Sciences, à Paris.
VAGNIEZ (Edouard), à Amiens.
VINCENS, Licencié ès Sciences, à Paris.

Sur la proposition de M. le PRÉSIDENT, MM. EIFFEL, MADAMET et POIRÉ sont nommés Membres de la Commission chargée de vérifier les comptes de l'année 1891.

M. le PRÉSIDENT annonce que Mlle *Delezenne* vient d'offrir à la Bibliothèque de la Société la collection, à très peu près complète, des Mémoires de son père, décédé en 1866. Le don de Mlle Delezenne se compose de cinq Volumes : 1° *Mélange de Physique*, 2° *Phénomènes d'induction*, 3° *Optique*, 4° *Acoustique*, 5° *Compléments à l'Acoustique musicale* et *Divers*. Des remerciements seront adressés à Mlle Delezenne, au nom de la Société.

M. le PRÉSIDENT met à la disposition des Membres de la Société un certain nombre d'invitations envoyées par M. le Directeur du Conservatoire National des Arts et Métiers pour assister aux Conférences sur la Photographie.

M. W. SCHMIDT présente à la Société divers modèles de chronographes pouvant mesurer jusqu'aux dix-millièmes de seconde. Ces appareils sont toujours basés sur le même principe que ceux déjà décrits par lui il y a près d'une année. C'est sur la régularité et la rapidité du mouvement du balancier d'échappement que sont fondées les mesures d'intervalles de temps ayant une durée bien inférieure à celle d'une oscillation.

Un mécanisme spécial assure une amplitude constante de 360° à ce balancier auquel est fixé l'index qui doit marquer les millièmes ou dix-millièmes de seconde. On amène cet index au zéro de la graduation : le ressort spiral est alors armé d'un demi-tour et le balancier ainsi au repos se trouve dans la même situation que le balancier libre à la fin d'une oscillation. Il est mis en marche et est arrêté par un courant électrique rompu au moment où l'observation commence et rétabli quand elle prend fin. Le nombre de divisions parcouru sur la graduation par l'index donne la durée de l'expérience.

Dans les nouveaux modèles de chronographes présentés par M. Schmidt, le balancier destiné à la mesure d'intervalles de temps inférieurs à une os-

Digitized by Google

cillation est rendu absolument indépendant du ressort moteur et de l'échappement. On amène l'index au zéro à l'aide d'un verrou spécial. Le balancier, en fer doux, est maintenu dans sa position de départ par l'action d'électro-aimants dans lesquels passe un courant qu'on règle à l'intensité voulue. Ces électro-aimants deviennent inactifs et dégagent le balancier au commencement de l'expérience pour entrer de nouveau en fonction et l'arrêter à la fin. Ce dispositif est combiné de façon à éviter les temps perdus qu'on rencontre dans beaucoup d'appareils de ce genre, à l'arrêt et à la mise en marche.

Ces chronographes ont été appliqués à la mesure de la vitesse initiale d'un projectile. Au moment du départ, celui-ci coupe le courant en traversant un fil tendu sur un premier cadre. Le chronographe se met en marche jusqu'à ce que le projectile traverse un deuxième cadre et marque la fin de l'expérience.

M. Schmidt explique comment la graduation de l'appareil en millièmes et dix-millièmes de seconde est facilitée par l'emploi d'un *disjoncteur* consistant en un corps pesant tombant qui, pendant sa chute, interrompt à différents points fixés d'avance et à des intervalles bien précis les courants des électro-aimants.

M. Schmidt termine en appliquant l'un de ses chronographes à la mesure de la durée de chute d'une tige de métal tombant d'une hauteur très faible. Il montre que diverses expériences successives donnent très sensiblement les mêmes valeurs pour la durée de cette chute.

Recherches sur l'arc à courants alternatifs. — M. Blondel expose les recherches qu'il a effectuées pour déterminer es lois suivant lesquelles l'arc à courants alternatifs s'établit et se rompt à chaque alternance; il se place, quant à présent, uniquement au point de vue des phénomènes optiques.

La méthode, inspirée de celle du miroir tournant, consistait à projeter une image amplifiée de l'arc (verticale ou renversée) sur un papier sensible (au gélatinobromure) appliqué à la surface d'un tambour entraîné par l'arbre même d'une dynamo (Siemens); on isolait, à l'aide d'un écran percé d'une fente, une bande très mince de l'image, de façon à déterminer la succession des phénomènes avec une grande précision.

Le temps d'exposition pouvait être quelconque; en particulier, on pouvait réaliser l'étude des perturbations instantanées qu'aucun autre mode d'observation n'avait pu jusqu'ici faire saisir.

Avec le concours de M. Pellin, M. Blondel présente des projections des principales épreuves obtenues.

Après avoir mis en évidence l'influence des divers éléments variables sur l'arc alternatif régulier, tel qu'on le produit ordinairement, et montré les avantages de la self-induction, au point de vue de la stabilité des petits arcs, il passe en revue les résultats obtenus dans un certain nombre de cas spéciaux.

Digitized by Google

En particulier, la méthode lui a permis d'étudier les décharges dissymétriques entre un gros crayon et un très petit, puis de déterminer le sens et la vitesse approximative du courant de carbone. Le transport principal se fait bien de l'électrode positive à la négative, et la vitesse obtenue dans un cas particulier a été d'environ 160^m, c'est-à-dire seulement trois ou quatre fois plus forte que celle des vents les plus violents; malgré le peu de précision de cette mesure, on peut considérer le résultat comme indiquant l'ordre de grandeur de cette inconnue.

L'effet des champs magnétiques, continus ou périodiques, transversaux ou parallèles, a été également étudié; les photographies, prises dans les divers cas, montrent que le sifflement constaté dans chacun d'eux doit être attribué à des ruptures périodiques extrêmement rapprochées (environ 2000 par seconde dans plusieurs expériences).

Le sifflement spontané de l'arc s'explique d'une façon analogue par les à-coups visibles dans le phénomène de transport du carbone, et qui sont souvent une conséquence de l'instabilité de l'arc. M. Blondel rappelle les diverses méthodes qui ont été préconisées pour rendre celui-ci fixe.

Enfin il fait remarquer que tous les phénomènes de sifflement sont, en général, accompagnés d'une diminution du rendement de l'arc défini par l'expression $\left(R = \frac{w}{EI}\right)$.

M. Joubert, à l'occasion de la Communication de M. Blondel, demande la permission de rappeler quelques expériences qu'il a faites sur le même sujet, il y a une douzaine d'années, et qui ont été signalées, mais non décrites, dans le *Bulletin* de la Société.

Sur l'arbre même de la machine à courants alternatifs, qui était une machine Siemens, il avait installé un disque en zinc de $0^m,70$ à $0^m,80$ de diamètre, sur lequel étaient découpées, suivant le rayon, autant de fentes que la machine présentait de pôles.

En mettant la lampe d'un côté du disque et l'œil de l'autre, il était facile de voir d'une manière permanente l'arc et les charbons dans une phase quelconque de la période; en remplaçant l'œil par une chambre noire, on pouvait en prendre l'image photographique. Il suffisait de déplacer la bougie dans le secteur correspondant à une période pour avoir la succession des phénomènes pendant toute une période. En mettant la lampe à quelque distance du disque et en inclinant la tête à droite et à gauche, on pouvait, sans autre déplacement, voir le phénomène dans toutes ses phases successives. Ce spectacle est des plus curieux : on voit l'arc s'éteindre en un point, se rallumer en un autre; l'arc s'éteint au moment où le courant est nul, puis il s'allume tout à coup et les points des charbons qui n'étaient que rouges arrivent rapidement au blanc; le charbon positif est manifestement le plus brillant et c'est alternativement celui du haut et celui du bas; puis l'arc s'éteint et les charbons repassent du blanc au rouge. C'est un fait bien frappant et de nature à faire réfléchir les physiciens qui

Digitized by Google

ont occasion de faire des déterminations de chaleurs spécifiques aux températures élevées de voir dans un temps, qui est de l'ordre des millièmes de seconde, un corps solide passer, par simple refroidissement, de la température du blanc à celle du rouge.

M. Joubert met sous les yeux de la Société une photographie faite en collaboration de M. Street qui avait bien voulu l'aider dans les expériences qui viennent d'être rappelées, photographie faite par un procédé différent de celui qui vient d'être décrit, mais met bien en évidence aussi la succession des phénomènes.

SÉANCE DU 18 DÉCEMBRE 1891.

PRÉSIDENCE DE M. FRIEDEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 décembre est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. TAILLEFER (André), ancien élève de l'École Polytechnique, à Paris.

M. Alphonse BERGET présente une méthode optique permettant d'enregistrer les oscillations du pendule et de remplacer la méthode des coïncidences, en éliminant également l'erreur personnelle de l'observateur.

Tout d'abord, on peut supprimer l'horloge de comparaison, à condition d'avoir un étalon de temps; cet étalon existe : c'est le jour sidéral, il se détermine à $0^s,1$ près avec une lunette des passages. Le temps sera donc connu, à $\frac{1}{864000}$ près. D'ailleurs, le pendule oscillant pendant 70, 80 et même 100 heures, on n'a rien à craindre de ce côté.

La masse du pendule porte une fente qui s'éclaire à chaque passage dans le plan vertical. Une image réelle de cette fente se forme, à ce moment, sur une bande de papier Eastman mue par un mouvement d'horloge; on a donc une série de traits équidistants qui marquent les passages dans la verticale.

Pour connaître le commencement et la fin de l'expérience, une fente fixe, placée dans la verticale du pendule, est démasquée au moment du passage méridien de l'astre choisi.

Si, au lieu de l'image d'une fente, on prend celle d'un trou éclairé, on peut enregistrer non seulement le nombre, mais l'amplitude des oscillations : il suffit de fixer au pendule une lentille convergente. L'image se déplace sur la bande sensible en y traçant une sinusoïde.

La difficulté d'avoir des bandes de pellicules sensibles d'une très grande longueur a conduit l'auteur à utiliser une expérience due à Edmond Becquerel : deux lames d'argent iodées, plongeant en solution chlorhydrique,

Digitized by Google

sont réunies par un fil contenant un galvanomètre; si on éclaire une des plaques, un courant traverse le fil.

Un miroir, fixé au pendule, envoie, à chaque oscillation, un éclair sur l'une des plaques, et fait naître un courant que dévie le galvanomètre; celui-ci sert de *relais*, et, grâce à une pile auxiliaire dont le courant traverse son fil de suspension, actionne un télégraphe Morse qui vient ainsi, à chaque passage du pendule, marquer un trait sur sa bande de papier.

On voit que cette méthode donne une précision de l'ordre des millionièmes sur la mesure du temps dans les oscillations du pendule, avec la seule lunette de passage comme instrument chronométrique; elle s'applique, d'ailleurs, soit au pendule de Borda, soit au pendule réversible; elle est donc générale.

M. Henri Becquerel expose à la Société quelques considérations sur les lois de l'intensité de la lumière émise par les corps phosphorescents.

Dans ses travaux sur la phosphorescence, M. Edmond Becquerel avait admis que, pour les corps examinés au phosphoroscope, la déperdition de la lumière avec le temps, ou le « refroidissement lumineux », était approximativement représenté, par la relation $i = e^{-at}$, entre l'intensité i et le temps t. Cette formule ne satisfait pas avec une exactitude suffisante aux expériences lorsqu'on analyse les diverses phases d'excitation et d'extinction dans le phosphoroscope. Elle ne s'applique pas non plus à la diminution de l'intensité de la lumière émise par les corps phosphorescents à longue période.

M. Henri Becquerel montre qu'en attribuant la diminution d'intensité avec le temps à un amortissement des mouvements vibratoires lumineux intermoléculaires proportionnel à chaque instant au carré de la vitesse des particules vibrantes, on en déduit pour représenter l'intensité l'expression

$$i = \frac{1}{(a + bt)^2}.$$

Cette formule satisfait aux observations avec certaines préparations de sulfures alcalinoterreux; pour d'autres, on reconnaît que la complication apparente de la loi d'extinction est due à un mélange de substances émettant chacune des indications différentes avec des vitesses d'extinction inégales. Dans ce cas, l'expression

$$i = \frac{1}{(a + bt)^2} + \frac{1}{(a' + b't)^2} + \cdots$$

représente très convenablement les observations.

Digitized by Google

Sur les lois de l'intensité de la lumière émise par les corps phosphorescents;

Par M. Henri Becquerel.

Les phénomènes de phosphorescence, de même que les phénomènes d'absorption de la lumière offrent, pour les physiciens, un intérêt particulier, parce qu'ils sont de nature à donner des renseignements précieux sur la structure intime de la matière et sur les mouvements intermoléculaires.

Mon père est, comme on le sait, le premier qui ait abordé l'étude de la lumière émise par les corps phosphorescents. En comparant l'extinction de la phosphorescence au refroidissement des corps, il avait montré que, au bout d'un temps très court, l'intensité de la lumière est approximativement représentée par l'expression $i = i_0 e^{-\alpha t}$, dans laquelle α est un coefficient particulier pour chaque substance, et t le temps écoulé depuis le moment où l'intensité était i_0. Cette relation se vérifie, en effet, d'une manière approchée, lorsqu'on examine un corps dans un phosphoroscope en faisant varier la vitesse de rotation de l'appareil, si l'on se borne à prendre pour valeur de la durée t de l'extinction le temps que les milieux de deux ouvertures consécutives des disques mobiles mettent à passer devant la source lumineuse et devant l'œil de l'observateur, les temps ainsi obtenus ne dépassent pas une fraction de seconde. Mon père avait fait observer, en outre, que la formule précédente ne convient pas pour représenter les intensités décroissantes des lueurs émises par un corps phosphorescent qui, après avoir été exposé à la lumière, reste lumineux dans une chambre noire pendant plusieurs minutes et parfois plusieurs heures. Il avait proposé la formule empirique $i^m (c + t) = c i_0^m$, dans laquelle m et c étaient des constantes spécifiques; mais ce n'était pas encore une expression satisfaisante du phénomène, car, le plus souvent, m et c devaient recevoir diverses valeurs pour représenter les intensités observées avec un même corps et dans une même expérience de quelque durée. Tel était l'état de la question, il y a quelques années, lorsque j'ai été conduit à reprendre l'étude de ces phénomènes.

Digitized by Google

Vers la même époque, M. Wiedemann chercha à analyser plus complètement les diverses alternatives d'excitation lumineuse et d'extinction dans le phosphoroscope; il admit comme exacte, *à priori,* la relation exponentielle rappelée plus haut et, dans plusieurs publications récentes, il est parti de cette loi pour établir diverses considérations théoriques sur la phosphorescence.

J'avais, de mon côté, fait le même calcul pour le phosphoroscope. En admettant que l'expression $i = i_0 e^{-\alpha t}$ représente la loi d'extinction, on arrive sans peine à établir la loi correspondante pour la période d'excitation lumineuse, et l'on trouve alors que l'intensité de la lumière émise par un corps placé dans un phosphoroscope devrait être représentée par l'expression

$$i = \frac{AL(1 - e^{-\alpha t})(1 - e^{-\alpha t'})e^{-\alpha\theta}}{\alpha(t' + t'_1)(1 - e^{-\alpha(t+t_1)})}.$$

L représente l'intensité de la lumière incidente, t le temps du passage d'une ouverture de l'un des disques entre le corps étudié et la source de lumière, t' le temps du passage d'un secteur opaque, t_1 et t'_1 les temps du passage d'une ouverture et d'un secteur opaque entre le corps étudié et l'œil de l'observateur, θ le temps qui sépare le moment où cesse l'illumination du corps, du moment où l'on commence à l'apercevoir (¹). Si la loi sur laquelle on s'est appuyé est exacte, on doit, pour un même corps et pour des vitesses différentes du phosphoroscope, observer des valeurs de i qui conduisent à une valeur constante pour le coefficient α. Or l'expérience ne vérifie pas cette déduction. Les méthodes de calcul et les Tableaux numériques seront publiés prochainement dans un Mémoire plus détaillé : je citerai seulement ici, à titre d'exemple, les nombres obtenus avec l'alumine :

Alumine (rubis).	t (en millièmes de seconde).	10,560	5,940	4,092	2,310	1,237
	α.....	0,2216	0,3484	0,3862	0,4577	

(¹) Cette formule diffère, par le terme $\frac{1}{t' + t'_1}$, de celle de M. E. Wiedemann, qui est :

$$i = \frac{AL}{\alpha} \frac{(1 - e^{-\alpha t})(1 - e^{-\alpha t'})e^{-\alpha\theta}}{(1 - e^{-\alpha t}e^{-\alpha t_1})}$$

(*Ann. der Physik und Chemie*, t. XXXIV; 1888).

Digitized by Google

La variation régulière de α montre l'inexactitude de la loi sur laquelle est fondé le calcul.

J'ai cherché à établir, par des considérations mécaniques simples, une relation entre l'intensité de la lumière émise par un corps phosphorescent et le temps écoulé depuis le moment où l'excitation lumineuse a cessé. La lueur émise étant le résultat d'un mouvement vibratoire intermoléculaire, on peut considérer l'extinction de cette lueur et, par suite, la diminution d'amplitude du mouvement, comme l'effet d'une force amortissante intermoléculaire qui serait à chaque instant fonction de la vitesse de la particule vibrante. Si l'on supposait la force d'amortissement proportionnelle à la vitesse, l'équation différentielle du mouvement vibratoire conduirait, pour les intensités, à la relation exponentielle rappelée plus haut, et qui ne satisfait pas à l'expérience.

Supposons que la force amortissante soit proportionnelle au carré de la vitesse, comme cela est approximativement vérifié lorsqu'un corps solide se déplace dans un milieu résistant; en désignant par u le déplacement de la particule vibrante, l'équation différentielle du mouvement sera

$$\frac{d^2u}{dt^2} + ku \mp \gamma\left(\frac{du}{dt}\right)^2 = 0.$$

On sait que la solution de cette équation établit, entre l'amplitude de la $n^{\text{ième}}$ demi-période et l'amplitude initiale, la relation

$$u_n = \frac{u_0}{1 + \frac{1}{2}n\gamma u_0}.$$

Comme le nombre n des demi-périodes est proportionnel au temps et que l'amplitude est proportionnelle à la racine carrée de l'intensité, on en déduit

$$(1) \qquad u = \frac{u_0}{1 + u_0 bt} = \sqrt{i} = \frac{1}{a + bt}.$$

Cette formule n'est autre que l'expression $i^m(c + t) = ci_0^m$ rappelée plus haut, si l'on y fait $m = \frac{1}{2}$. Or, dans les expériences de mon père, la valeur de m avait toujours été trouvée voisine de $\frac{1}{2}$, et l'on avait même obtenu exactement $\frac{1}{2}$ pour certains corps, notamment des préparations particulières de sulfure, de calcium et de strontium.

Digitized by Google

Pour d'autres corps, la formule (1) paraît ne pas convenir; mais, si l'on observe, comme je l'ai montré antérieurement, que ces corps peuvent être des mélanges de substances différentes, ou de composés différents d'une même substance émettant chacun des lueurs dont la loi d'extinction est différente, on est conduit à penser que l'intensité totale est la somme des intensités partielles de ces lueurs, et à comparer l'intensité observée à une formule de la forme

$$(2) \qquad i = \frac{1}{(a+bt)^2} + \frac{1}{(a'+b't)^2} + \ldots.$$

Cette formule représente, d'une manière remarquable, les intensités des lueurs émises par les corps phosphorescents à longue durée.

Je rapporterai seulement ici les comparaisons faites avec les observations de mon père [1]. Les intensités étaient déduites des distances auxquelles il fallait éloigner une lampe pour obtenir, sur une surface transparente, une intensité égale à celle de la lueur émise par le corps phosphorescent. Soit y cette distance. On a, à un facteur constant près,

$$i = \frac{1}{y^2}.$$

La formule (1) devient

$$y = a + bt;$$

la courbe des données expérimentales est une droite, ce que l'expérience vérifie avec les quelques corps cités plus haut. Pour les mélanges de substances tels que la préparation de sulfure de calcium, donnant par phosphorescence une belle lumière bleue, ou les sulfures de strontium et de baryum, la courbe affecte une forme convexe vers l'axe des y. Les observations relatives au sulfure de calcium bleu que l'on vient de citer sont très bien représentées par la relation

$$i = \frac{1}{y^2} = \frac{1}{(57+0{,}09t)^2} = \frac{1}{(7{,}97+0{,}65t)^2},$$

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. LXII; 1860.

Digitized by Google

comme le montre le Tableau suivant : les temps sont exprimés en secondes, les valeurs de y en centimètres.

t.	y observé.	y calculé.
s	cm	cm
0.....	7,90	7,90
35.....	28,60	27,34
75.....	42,30	42,37
170.....	59,05	61,70
265.....	72,90	73,76
420.....	89,65	89,82
700.....	116,70	116,16
1110.....	155,35	153,40
1305.....	176,35	171,59
1525.....	189,60	190,60
1725.....	204,80	208,60

La formule permet, comme on le voit, de suivre la diminution d'intensité pendant près d'une demi-heure; les différences entre les nombres observés et les nombres calculés sont de l'ordre de grandeur des erreurs expérimentales.

La quantité totale de lumière émise est

$$Q = \int_0^\infty i\,dt = \int_0^\infty \frac{dt}{(a+bt)^2} = \frac{1}{ab}.$$

En appliquant ce calcul à chacune des matières qui forment le mélange lumineux bleu étudié plus haut, on arrive à ce résultat remarquable que, malgré leur vitesse d'extinction inégale, la quantité totale de lumière émise par chacune d'elles est la même. On a, en effet,

$$57 \times 0{,}09 = 5{,}13 \qquad \text{et} \qquad 7{,}97 \times 0{,}65 = 5{,}18.$$

On peut démontrer d'une autre manière que les substances étudiées sont des mélanges de matières ayant des durées d'extinction différentes. Lorsqu'on projette, pendant quelques instants, le spectre solaire sur un écran formé de matière réduite en poudre, et qu'on fait ensuite cesser l'action du spectre, on voit que la phosphorescence a été excitée dans des régions spectrales particulières, qui constituent le spectre d'absorption de la substance, car, pour être actifs, il est nécessaire que les rayons soient absorbés.

Digitized by Google

Avec la préparation de sulfure de calcium étudiée plus haut, le spectre d'absorption se compose de deux bandes ou régions actives, l'une α près de G, s'étendant entre les longueurs d'onde $\lambda = 455$ et $\lambda = 400$; l'autre β, dans l'ultra-violet de $\lambda = 365$ à $\lambda = 340$. La bande α émet une lueur bleu foncé, β une lueur bleu clair verdâtre. Cependant, si l'action excitatrice du spectre a une durée un peu longue, on voit, sur la moitié la plus réfrangible de α, de 405 à 400, une lueur plus claire qui disparaît rapidement, dont l'existence justifierait la présence d'un troisième terme dans la formule ci-dessus, mais ce terme aurait une influence très faible. Les lueurs émises par les bandes α et β ont des durées de persistance inégales; pour manifester cette inégalité, il suffit de chauffer la matière impressionnée; la phosphorescence devient momentanément plus vive, puis diminue; la bande verte β disparaît rapidement tandis que la bande bleue α reste encore visible pendant très longtemps. Si l'on projette le spectre sur la substance pendant qu'elle est à une température supérieure à 100°, la bande α apparaît seule; aussi le corps paraît-il bleu foncé à chaud, tandis qu'il est bleu clair à la température ordinaire.

Des phénomènes de même ordre se présentent avec les autres préparations de sulfures phosphorescents, de calcium, de strontium, de baryum. Quelques-unes paraissent exemptes de mélanges, et ne donnent qu'une bande d'excitation dans le spectre; un sulfure de calcium ne donne que la bande β, une préparation de sulfure de strontium lumineuse bleue ne donne qu'une bande, et l'intensité de la lumière émise suit presque exactement la formule (1). L'influence de matières différentes mélangées entre elles produit, dans la lumière émise, des changements de couleur analogues à ceux que j'ai étudiés l'année dernière pour les fluorures de calcium, soit lorsqu'on les rend phosphorescents par la chaleur, soit lorsqu'on les examine au phosphoroscope avec des vitesses différentes de rotation de l'appareil.

Pour étudier la loi de déperdition de la lumière émise par les corps phosphorescents, il conviendrait donc d'isoler une radiation de longueur d'onde déterminée, émise sous l'influence excitatrice de radiations monochromatiques d'une longueur également déterminée. Cependant les vérifications qui viennent d'être rapportées donnent une grande probabilité à la formule (1). Celle-ci se vé-

Digitized by Google

rifie dans ses diverses conséquences; elle montre comment la loi de déperdition varie avec l'intensité initiale et avec la durée de l'excitation lumineuse.

Des considérations analogues à celles qui viennent d'être indiquées permettent d'établir une relation entre l'intensité et le temps pendant que le corps est exposé aux radiations excitatrices. J'ai démontré, autrefois, qu'avec certains corps, tels que les composés d'uranium, les radiations absorbées correspondaient à des mouvements vibratoires harmoniques de ceux des radiations émises par phosphorescence. On pourrait supposer qu'à l'intérieur des corps il se produise des mouvements vibratoires soit permanents, soit prenant naissance sous l'influence de radiations incidentes et cessant en même temps que ces dernières; par une extension de la loi de Kirchhoff, les radiations absorbées seraient celles dont les vibrations seraient soit synchrones, soit harmoniques des vibrations intermoléculaires. Considérons maintenant un corps soumis à l'action de la lumière et qui devient phosphorescent, et admettons que l'éther intermoléculaire ait pris un mouvement vibratoire synchrone de celui qui va naître et qui constituera la phosphorescence. Soit $U = A \cos kt$ l'amplitude du premier mouvement, $u = u_0 \cos kt$ l'amplitude du mouvement qui produit la phosphorescence; la vitesse relative de ce dernier mouvement par rapport au milieu, qui est lui-même en vibration, sera $\left(\frac{du}{dt} - \frac{dU}{dt}\right)$, et, si nous supposons que l'amortissement est proportionnel au carré de cette vitesse, l'équation différentielle du mouvement deviendra

$$\frac{d^2u}{dt^2} + ku \pm \gamma\left(\frac{du}{dt} - \frac{dU}{dt}\right)^2 = 0.$$

On en déduit très simplement, pour représenter la variation d'amplitude pendant l'excitation lumineuse, la relation

$$u = A - \frac{A - u_0}{1 + (A - u_0)\,bt}\,(^1).$$

(1) J'avais obtenu, depuis plusieurs années, la plupart des résultats exposés dans cette Note; je comptais, avant de les publier, terminer une série d'expé-

Digitized by Google

Cette formule demande à être vérifiée par des expériences nouvelles en cours d'exécution.

En résumé, il résulte des considérations qui viennent d'être exposées que l'on peut rendre compte assez exactement de la loi de diminution de l'intensité de la lumière émise par les corps phosphorescents, en admettant que les mouvements intermoléculaires qui produisent la phosphorescence, s'amortissent proportionnellement au carré de la vitesse des particules vibrantes.

Méthode d'inscription optique pour déterminer l'accélération de la pesanteur;

PAR M. ALPHONSE BERGET.

1. Toutes les déterminations, soit absolues, soit relatives, de la constante g, accélération de la pesanteur, faites au moyen du pendule, ont utilisé, depuis Borda, la méthode d'observation dite *des coïncidences,* imaginée, comme l'on sait, non par Borda, mais par un savant du siècle dernier, de Mairan.

Très élégante, cette méthode n'est pas directe : elle n'est pas exempte d'une erreur relative assez considérable. Aussi M. Lippmann a-t-il proposé, avec raison, de la remplacer par la méthode stroboscopique, comparant directement les oscillations de deux pendules, comme on le fait, en Acoustique, quand il s'agit de comparer les vibrations de deux diapasons. La méthode stroboscopique donne une précision bien supérieure à celle des coïncidences; mais elle comporte, elle aussi, une erreur inévitable : c'est l'erreur personnelle.

Dans la méthode que je vais exposer, je me suis proposé de diminuer cette cause d'erreur, sinon de la supprimer complètement,

---

riences nouvelles, lorsque j'ai eu connaissance de plusieurs Notes de M. E. Wiedemann, qui contiennent sur la phosphorescence des sulfures alcalino-terreux des considérations théoriques tellement en désaccord avec les anciennes expériences de mon père et les miennes, que j'ai cru devoir avancer l'époque de cette publication.

Digitized by Google

en *enregistrant graphiquement,* d'une manière continue, toutes les oscillations du pendule pendant une durée considérable.

On sait que, dans certaines conditions, moyennant l'observation de certaines précautions, un pendule peut osciller pendant très longtemps. La Condamine avait un pendule dont la durée d'oscillation observable nettement était de vingt-sept heures. J'ai installé, au laboratoire de M. Lippmann, un pendule formé d'une sphère de plomb pesant $19^{kg},800$, suspendue à un fil de $2^{m},40$ de longueur : ce pendule, dont le mouvement était amorti par l'air, a oscillé pendant soixante-douze heures, et, au bout de ce temps, les oscillations étaient susceptibles d'être nettement, non seulement observées, mais encore enregistrées. Il est donc possible de répartir sur un très long intervalle de temps l'observation du nombre des oscillations du pendule. De la sorte, au lieu de chercher à réduire l'erreur probable par des méthodes de calcul, on la réduit physiquement par la nature même de la méthode employée, ce qui me semble préférable.

2. La question de la mesure du temps est essentielle dans toute mesure de la gravité par le pendule. Les horloges astronomiques sont, certainement, des instruments parfaits. Quand on fait des observations à Paris ou dans des villes possédant des observatoires astronomiques, on peut avoir ainsi l'heure avec une grande exactitude; mais, dans une expérience faite dans un lieu quelconque, le transport et le réglage d'une horloge astronomique sont choses délicates.

L'emploi d'un pendule oscillant très longtemps permet de se passer de l'horloge de comparaison; voici de quelle manière :

Par définition, on appelle *jour sidéral* l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs d'un même astre au méridien du lieu où l'on opère. Si l'on a à sa disposition un instrument des passages, on a donc un véritable *étalon de temps,* représentant une durée de vingt-quatre heures. Il suffira donc de compter les oscillations du pendule entre deux passages au méridien pour avoir, si l'on connaît la longueur du pendule, les données de l'expérience. Compter ces oscillations par observation directe est impossible : il faut avoir recours à un enregistrement.

3. L'enregistrement électrique n'est pas possible directement :

Digitized by Google

en effet, le pendule doit être *libre* dans ses oscillations, et il ne le serait plus s'il était assujetti à établir un contact périodique; il serait de plus soumis, au moment de la rupture du circuit qu'il serait chargé de fermer, à des actions électrodynamiques perturbatrices. Pour toutes ces causes, il faut rejeter l'enregistrement électrique direct et recourir à un enregistrement optique.

J'ai pensé utiliser la grande sensibilité des pellicules de celluloïd recouvertes de gélatinobromure que l'on trouve dans le commerce sous le nom de *pellicules Eastman*. Je prends une de ces pellicules que j'enroule sur le cylindre d'un chronographe enregistreur et, tout l'appareil étant dans l'obscurité, cette pellicule pourra recevoir et enregistrer l'image d'un point lumineux et ses déplacements.

Pour produire cette image, plusieurs moyens peuvent être employés.

J'ai d'abord muni le pendule d'une fente verticale placée à sa partie inférieure. L'appareil étant au repos, cette fente recevait l'image réelle d'une fente fixe, éclairée fortement; l'appareil étant en oscillation, le faisceau ne passait qu'à chaque position verticale du pendule qui impressionnait d'un trait le papier sensible placé sur le cylindre tournant. Nous aurons donc sur la bande de papier un trait pour chaque passage du pendule dans la verticale.

Pour marquer le commencement et la fin de l'expérience, on démasque, au moment du passage au méridien de l'astre choisi, une portion de la fente fixe, émettant un rayon qui passe au-dessous de la plaque fendue portée par le pendule : un signal de commencement et, vingt-quatre heures après, un signal terminal.

Voici la disposition adoptée : les lunettes méridiennes, ayant au moins cinq fils, il faut donc enregistrer les cinq passages. Pour cela, la plaque qui démasque la portion supplémentaire de la fente est commandée par un électro-aimant dont la manœuvre dépend d'une clef de Morse placée sous la main de l'observateur de la lunette de passage. On aura donc *cinq traits de passage* faisant vernier sur les traits d'oscillation : le commencement et la fin de l'expérience sont, par conséquent, marqués d'une façon très nette, comme le montre la *fig.* 1, fac-simile d'une des épreuves photographiques que j'ai obtenues.

On voit en AB les traits qui correspondent aux oscillations du pendule et en 1, 2, 3, 4, 5 les traits des passages méridiens.

Digitized by Google

Cette méthode se prête, d'ailleurs, aussi bien à l'enregistrement des coïncidences : il suffit de superposer sur la même bande sensible les traits correspondant aux deux pendules à comparer; ils formeront un véritable vernier; à n traits du pendule d'étude correspondront $n \pm 1$ traits de l'horloge de comparaison : on aura même ainsi une estimation directe de l'erreur commise dans l'appréciation de la coïncidence.

Fig. 1.

La seconde manière d'enregistrement est peut-être préférable au point de vue absolu, car elle enregistre non seulement le nombre des oscillations, mais encore leur amplitude.

Elle consiste à munir le pendule d'un organe optique, lentille ou miroir concave, donnant une image réelle d'un point lumineux très fin. Cette image oscille en même temps que le pendule, et si le papier photographique sur lequel elle tombe est animé d'un mouvement de translation uniforme, on aura une sinusoïde dont l'amplitude sera en rapport constant avec celle des oscillations du pendule étudié.

La *fig.* 2 représente le résultat que j'ai obtenu avec cette méthode. Cinq interruptions A, B, C, D, E marquent les moments des passages aux fils de la lunette méridienne.

Enfin, une troisième manière consiste à transformer l'énergie optique en inscription électrique : c'est facile, soit à l'aide des propriétés du sélénium, soit à l'aide d'une expérience célèbre due à M. Ed. Becquerel.

Deux lames d'argent iodées sont plongées dans de l'eau faiblement acidulée et reliées par un galvanomètre résistant; à chaque oscillation du pendule, un éclair lumineux vient frapper une des lames, et le galvanomètre dévie. Son aiguille ferme alors le circuit d'un télégraphe Morse, sur la bande de papier duquel s'imprime un point. Un second électro-aimant imprime un second trait à côté du premier au moment d'un passage méridien, pour marquer le commencement et la fin de l'expérience.

Digitized by Google

4. On voit, par l'exposé précédent, que ces procédés d'enregistrement s'appliquent à toutes les méthodes de mesure de la gravité dans lesquelles le pendule est employé, soit sous la forme du pendule de Kater, soit sous celle du pendule de Borda.

Je pense, néanmoins, qu'il y aurait lieu de reprendre cette dernière. En effet, la méthode du pendule réversible a été poussée aux dernières limites de la précision par le commandant Defforges.

Fig. 2.

La méthode de Borda a pour elle la simplicité plus grande : à l'époque où elle a été mise en œuvre, les corrections relatives à la viscosité de l'air n'étaient pas employées.

Je me propose de la reprendre en faisant osciller un pendule à fil dans le vide, à température constante, pendant un ou deux jours sidéraux, et en enregistrant toutes les oscillations pendant cet intervalle, l'erreur relative sur le nombre des oscillations sera nulle; quant à la précision avec laquelle t est connu, le jour sidéral comprend 86400 secondes, et s'apprécie à $0^s,1$: c'est donc une précision de $\frac{1}{864000}$.

Quant à la mesure de l, elle peut se faire très précisément aussi : j'ai l'intention d'employer, comme Borda, un pendule de 4^m de longueur. Avec la perfection des instruments de mesure usités aujourd'hui, on fera cette mesure avec une exactitude considérable.

Digitized by Google

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1891.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXII et CXIII, 1891; in-4°.

Journal de Physique théorique et appliquée fondé par *J.-Ch. d'Almeida* et publié par MM. *E. Bouty*, *A. Cornu*, *E. Mascart*, *A. Potier*, 1re série, 1872-81. 2e série, 1882-91. 3e série, 1892; 21 vol. in-8°.

Annales de Chimie et de Physique, 6e série, t. XII, XIII et XIV, 1891; in-8°.

Annales télégraphiques, 3e série, t. XVIII, année 1891; in-8°.

Table générale des *Annales télégraphiques* par ordre alphabétique et signalétique des matières et des auteurs. Années 1855 à 1890. Rédigée par ordre de M. le Directeur général des Postes et des Télégraphes et sur la demande du Comité de rédaction, par M. *H. Pelletier*. Paris, Vve Dunod, 1891; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société philomathique de Paris, 7e série, t. XIV, 1890-1891; in-8°.

Bulletin des Sciences physiques, publié par les soins de l'Association amicale des élèves et anciens élèves de la Faculté des Sciences de Paris, année 1891; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils, année 1891.

Mémoires et comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils, 4e série, 44e année, janvier à décembre 1891.

L'Électricien, Revue internationale de l'Électricité et de ses applications, 2e série, t. XV, année 1891; in-8°.

Bulletin international de l'Électricité, année 1891; in-4°.

La Revue industrielle, année 1891; in-4°.

Moniteur industriel, vol. XVIII, année 1891; in-4°.

Revue internationale de l'Électricité et de ses applications, t. VIII, 6e année, 1891; in-4°.

Digitized by Google

Bulletin de la Société française de Minéralogie, t. XIV, année 1891; in-8°.

Ministère de l'Instruction publique. — Revue des Travaux scientifiques, t. XI, 1890; in-8°.

Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires, publié par M. *A. Buguet*, 5e année, 1891; in-8°.

The Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society, vol. VII; in-8°.

Paris-Photographe, publié par M. *Nadar*, année 1891; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société nationale d'encouragement pour l'Industrie nationale, t. V, 4e série, 1891; in-4°.

Société nationale d'encouragement. Procès-verbaux des séances, année 1891.

Revue générale des Sciences pures et appliquées, publiée par M. *Louis Olivier*, 2e année, 1891; in-4°.

Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève, année 1879 à 1891; 12 vol. in-8°.

Memorias de la Sociedad cientifica « Antonio Alzate », t. V, 1891.

Proceedings of the Royal Society, vol. XLVIII et XLIX, 1891.

Philosophical Magazine, fifth series, vol. XXXI and XXXII, 1891.

Annalen der Physik und Chemie, neue Folge, Band XLI à XLIII, 1891.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie, Band XV, 1891.

Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles, 3e série, XXVI, in-8°.

Journal de la Société physico-chimique de Saint-Pétersbourg, t. XXIII: 1891.

Journal of the Institution of Electrical Engineers including original Communications on Telegraphy and Electrical Science, vol. XX, 1891.

The American Journal of Science, 3e série, vol. XL et XLI, 1891.

Proceedings of the Physical Society of London, vol. X et XI, 1889.

Annales de l'École polytechnique de Delft, année 1891.

Die Fortschritte der Physik im Jahre 1885; in-8°.

Digitized by Google

Bulletin de la Société internationale des Électriciens, année 1891; in-4°.

Proceedings of the Royal Society of Edinburg, vol. XVII, 1889-90; 1 vol. in-8°.

Cronica cientifica, revista internacional de Ciencias, t. XIV, 1891.

Bulletin de la Société belge d'Électriciens, t. VII, année 1891.

The Electrician, vol. XXV et XXVI, 1891.

Annales de l'Institut météorologique de Roumanie; par M. *Stefan C. Hepitès*, t. III, 1887; in-4°.

Bulletin international de l'Académie des Sciences de Cracovie, année 1891; in-8°.

Nature (de Londres), vol. XLV.

Bulletin mensuel de l'École de Physique et de Chimie industrielles, 2e année, octobre et décembre 1890, janvier et février 1891; in-8°.

Revue de l'aéronautique théorique et appliquée, 3e année, 1890, 3e livraison; in-4°.

Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales, vol. XXIII et XXIV, 1889. Part II; 2 vol. in-8°.

Proceedings and Transactions of the Nova Scotian Institute of natural Science of Halifax, Nova Scotia. Vol. VII, 1888-1889. Part III; in-8°.

Boletin mensual del Observatorio meteorologico del Colegio pio de Villa Colon. Montevideo, 1891; in-8°.

Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore, 2e série, t. II, 1891; in-8°.

Annuaire pour l'an 1891, publié par le Bureau des Longitudes. Paris, Gauthier-Villars et fils; in-18.

Observations et Mémoires sur la Physique, sur l'Histoire naturelle et sur les Arts et Métiers, publiées par l'abbé *Rozier*. Année 1773 à 1793 et supplément de 1778 à 1782; 23 vol. in-4°.

Introduction aux observations sur la Physique, sur l'Histoire naturelle et sur les Arts; par l'abbé *Rozier*, 1777; 2 vol. in-4°.

Journal de Physique et de Chimie et d'Histoire naturelle; par *Jean-Claude Lamétherie*. Année 1793 et 1798 à 1813 et 1815, 1816; 19 vol. in-4°.

Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire naturelle; publié par *Ducrotay* et *Blainville*. Année 1818; 1 vol. in-4°.

Digitized by Google

Revue des Cours scientifiques. Années 1878 à 1884, 1er semestre; 11 vol. in-4°.

De la transparence de certaines tumeurs; par M. *G. Gariel*. (Ext. du *Bulletin de l'Académie de Médecine*); br. in-8°.

Lectures scientifiques (Extraits de *Mémoires originaux et d'études sur la Science et les savants;* par M. *Jules Gay*, Paris, Hachette, 1891; 1 vol. in-16.

Das Inductions-Electrodynamometer; von *J. Mooser;* br. in-8°.

Ueber einige Lothstörungen in der Westschweiz; von *J.-B. Messerschmitt*. Zurich, Diggelman, 1891; br. in-8°.

Traité élémentaire d'Électricité; par M. *Joubert*, 2e édition. Paris, Masson, 1891; 1 vol. in-18.

Sur la méthode Doppler-Fizeau permettant la détermination de la vitesse des astres par l'analyse spectrale; par M. *A. Cornu*. (Ext. de l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1891); in-12.

La Photographie des couleurs, d'après la méthode de M. Lippmann; par M. *Berget*. Paris, Gauthier-Villars, 1891; in-18.

Mémoires d'ophtalmométrie; par M. *E. Javal*. Paris, V. Masson, 1891; 1 vol. in-8°.

La Physique en Médecine, son enseignement, son influence. Leçon inaugurale faite à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Bordeaux, le 20 novembre 1890; par M. *Bergonié*. Bordeaux, Péret et fils, 1890; br. in-8°.

Géologie. Principes. Explication de l'époque quaternaire sans hypothèse; par M. *H. Hermite*. Neuchâtel, Attinger frères, 1891; in-8°.

Les yachts de courses; par M. *N.-J. Raffard*. Paris, Chaix, 1891; in-8°.

Almanach. Annuaire de l'Électricité et de l'Électro-Chimie; par M. *Firmin Leclerc*. Année 1891; in-12.

Le cyclostat, nouvel instrument d'optique destiné à permettre l'observation des objets animés d'un mouvement de rotation rapide; par M. *Thury*.

Leçons de Physique professées à l'École Polytechnique; par M. *A. Cornu*, 1890-91; 1 vol. in-4°.

Traité de Physique; par MM. *Drincourt* et *Dupays*. Paris, Colin, 1891; 1 vol. in-12.

Synthèse du rubis; par M. *E. Fremy*. Paris, Vve Dunod, 1891; 1 vol. in-4°.

Leçons sur les métaux, professées à la Faculté des Sciences de Paris; par M. *A. Ditte*. Paris, Vve Dunod, 1891; 1er et 2e fascicules; in-4°.

Digitized by Google

Expériences sur l'influence de l'Électricité sur les végétaux; par M. *Selim Lemström*. Helsingfors, J.-C. Frenckell, 1891; br. in-4°.

Die Natur der Funken bei den Hertz'schen elektrischen Schwingungen; von *Ed. Hagenbach* et *L. Zehnder*. (Ext. des *Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel*, t. IX, 1891). Basel, J.-G. Baur, 1891; br. in-8°.

Recherches sur la vitesse d'évaporation des liquides pris au-dessous de la température d'ébullition; par M. *P. de Heen*. (Ext. *Ac. Roy. de Belgique*, t. XXI, 1891); 1re et 2e Parties; 2 br. in-8°.

Metingen over Kerr's verschijnsel bij Magnetisatie evenwijdig aan het spiegelend oppervlak; von *R. Sissingh*. Amsterdam, J. Müller, 1891; in-4°.

Sur le halo photographique; par M. *A. Cornu* (*Congrès de Limoges*, 1890); br. in-8°.

Sur l'application du photopolarimètre à la Météorologie; par M. *A. Cornu* (*Congrès de Limoges*, 1890); br. in-8°.

Déterminations magnétiques faites en France pendant l'année 1888; par M. *Th. Moureaux* (Ext. des *Ann. du Bureau central météorologique*); br. in-4°.

Déterminations magnétiques faites en France pendant l'année 1889; par M. *Th. Moureaux* (Ext. des *Ann. du Bureau central météorologique*); br. in-4°.

Architecture navale. Théorie du navire; par MM. *J. Pollard* et *A. Dudebout*, t. I et II. Paris, Gauthier-Villars et fils; 1891; 2 vol. in-8°.

Leçons de Physique générale; par MM. *James Chappuis* et *Alphonse Berget*. Paris, Gauthier-Villars et fils; 1891; 3 vol. in-8°.

Sur une particularité curieuse des cours d'eau et sur l'une des causes des crues subites; par M. *G. Van der Mensbrugghe*. Bruxelles, F. Hayez; 1891; br. in-8°.

Sur la propriété caractéristique de la surface commune à deux liquides soumis à leur affinité mutuelle; par M. *G. Van der Mensbrugghe*. Bruxelles, Hayez; 1891; br. in-8° (3e Communication).

Congrès international et procédés de construction; par MM. *Aug. Moreau* *G. Petit*. *Comptes rendus des séances et visites au Congrès*. Paris, Baudry, 1891; 1 vol. in-8°.

Congrès international de Chronométrie : Comptes rendus des travaux. — Procès-verbaux et Mémoires, publiés sous les auspices du Bureau du Congrès; par M. *E. Caspari*. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1891; 1 vol. in-4°.

Digitized by Google

Sur l'analyse de la lumière diffusée par le ciel; par M. *Crova* (Extrait des *Annales de Chimie et de Physique,* t. XX, 1890).

Observations faites au sommet du mont Ventoux, sur l'intensité calorifique de la radiation solaire; par MM. *Crova* et *Houdaille* (*Ann. de Ch. et de Ph.,* t. XXI; 1890).

Ueber die latente Siedewärme und ihre Abhängigkeit von anderen Beobachtbaren physikalischen Grössen; von *K. Kraïewitsch* (Ext. du *Rep. der Phys. von Fr. Exner*).

Le rôle de la Physique dans les récents progrès des Sciences; par M. *A. Cornu* (*Congrès de Limoges,* 1890); in-4°.

Sur la limite ultra-violette du spectre solaire, d'après les clichés obtenus par M. le Dr O. Simony, au sommet du Pic de Ténériffe; par M. *A. Cornu* (Ext. des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* t. XCI; déc. 1890).

Cours de Physique; par M. *Violle,* t. II. Acoustique et Optique. 2e Partie, Optique géométrique. Paris, G. Masson, 1892; 1 vol. in-8°.

Recherches sur le porte-voix et le pavillon des instruments de musique; par M. *M. Neyreneuf* (Extrait des *Mémoires de l'Académie nationale des Sciences, Arts et Belles-Lettres de Caen;* 1891).

Cours de Physique à l'usage des élèves de la classe de Mathématiques élémentaires et des candidats au Baccalauréat ès sciences; par M. *H. Pellat.* Paris, Paul Dupont, 1891-92; 2 vol. in-12.

Cours de Physique et de Météorologie professé à l'Institut agronomique; par M. *E. Duclaux.* Paris, A. Hermann, 1891; vol. in-8°.

Erwiderung auf die Kritik des Hrn. Ferdinand Brauss, betreffend das Gesetz über die Gleichheit der Potentiale beim Uebergang von einem Metalle zu der Lösung eines seiner Salze; von *H. Pellat.* (Ext. *Ann. der Phys.,* t. XLIV, 1891); br. in-8°.

Geschichte der Physik seit der Wiederherstellung der Künste und Wissenschaften bis auf die neuesten Zeiten; von *Johann Carl Fischer.* Göttingen, Johann Friedrich Röwer, 1801-1808; 8 vol. in-8°.

Résistance des matériaux; par M. *A. Madamet.* Paris, E. Bernard et Cie, 1891; 1 vol. in-8°.

Transmissions électriques; par M. *A. Hillairet* (Ext. du *Bulletin de la Soc. des Ing. civils,* mai 1891); br. in-8°.

Discours prononcés à la Séance du Congrès des Sociétés savantes le mercredi 27 mai 1891, par MM. *Gaston Boissier* et *Léon Bourgeois,* Ministre de

Digitized by Google

l'Instruction publique et des Beaux-Arts. Paris, Imprimerie nationale, 1891; br. in-8°.

Absorptions-Spectralanalyse sehr verdünnter Lösungen; von *O. Knoblauch* (*Annalen der Physik und Chemie*, 1891); br. in-8°.

Optische Notizen : 1° Ueber die Farbe des Iodes; 2° Fluorescirende Dämpfe; von *E. Wiedemann* (*Annalen der Physik*, 1890); br. in-8°.

Zum zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie; von *E. Wiedemann* (*Annalen der Physik*, 1889); br. in-8°.

Sur les mouvements à l'intérieur des corps qui produisent la luminosité; par M. *E. Wiedemann* (Ext. des *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève*, 1891); br. in-8°.

Beziehung zwischen Absorption und Empfindlichkeit sensibilisirter Platten; von *J.-J. Acworth* (*Ann. der Phys.*, 1891); br. in-8°.

Untersuchungen von Amalgamen. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doctorwürde der philosophischen Facultät der Friedrich-Alexanders Universität zu Erlangen; von *J. Schumann*. Leipsig, J.-A. Barth, 1891; br. in-8°.

Ueber die Dämpfung schneller electrischer Schwingungen; von *V. Bjerknes* (*Ann. der Phys.*, 1891); br. in-8°.

Ueber die Erscheinung der multiplen Resonanz electrischer Wellen; von *V. Bjerknes* (*Ann. der Phys.*, 1891); br. in-8°.

Sur la nature des étincelles dans les oscillations électriques de M. Hertz; par MM. *Ed. Hagenbach-Bischoff* et *L. Zehnder* (*Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève*, 1891); br. in-8°.

La ventilation par l'éclairage au gaz; par M. *A. Bandsept* (Ext. du *Bull. technologique de la Société des anciens élèves de l'École nat. des Arts et Métiers*, oct. 1891); br. in-8°.

Zur Theorie selbstthätiger Stromunterbrecher; von *V. Dvorak*. (*Ann. der Phys. und Chemie*, 1891); br. in-8°.

Appendice alla Nota sul passaggio dell' idrogeno nascente attraverso il ferro a temperatura ordinaria; da *M. Bellati* e Dr *S. Lussana*. Venezia, Antonelli, 1891; br. in-8°.

Sul modo con cui varia la temperatura di trasformazione del nitro, per l'aggiunta di nitrati, e sul nesso di tale variazione coll' abbassamento del punto di gelo delle soluzioni diluite. Ricerche sperimentali; da *M. Bellati* e Dr *S. Lussana* (Ext. *Atti del R. Istituto veneto di Scienze, Lettere ed Arti*, 1891, série VII, tomo II); br. in-8°.

Digitized by Google

Sur la double réfraction du quartz; par M. *J. Macé de Lépinay* (Extrait des *Annales de la Faculté des Sciences de Marseille*); in-4°.

Mémoires divers de *T. Delezenne,* 5 vol. : 1° Mélange de Physique, 2° Phénomènes d'induction, 3° Optique, 4° Acoustique musicale, 5° Compléments à l'Acoustique musicale et Divers.

Memoirs and Proceedings of the Manchester Litterary and Philosophical Society, vol. I, II et IV, 1887 à 1891; in-8°.

Boletin de la Sociedad nacional de Mineria, avril, mai et juin 1891; in-4°.

Transactions of the Royal Society of Edinburg : Meteorology of Ben News; by *Alexander Buchan,* vol. XXXIV; in-4°.

Transactions of the Royal Society of Edinburg, vol. XXXVI (nos 1 à 8); 1889-90; in-4°.

Procès-verbal d'expériences faites sur un moteur de cent chevaux indiqués, alimenté au gaz Dowson et parallèle entre les moteurs à gaz et les machines à vapeur de même puissance; par M. *A. Witz.* Paris, Courtier, 1890; br. in-4°.

Sul passaggio dell' idrogeno nascente attraverso il ferro a temperatura ordinaria. — Studio sperimentale; da *Bellati* et *S. Lussana* (Ext. *Atti del R. Istituto veneto di Scienze*, t. I, 7e série); br. in-8°.

Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des Arts et Manufactures. Groupe de Paris (Seine et Seine-et-Oise) : Conférences. — Visites à l'Exposition universelle de 1889. Paris, Maine, 1890; 1 vol. in-8°.

Comptes rendus des séances de la huitième réunion des naturalistes et médecins russes; 1 vol. in-8° (en russe).

Éclipse totale du Soleil du 7 au 19 août 1887 : Rapports des expéditions de la Société Physico-Chimique russe et Correspondances de la région d'éclipse totale, publiés par la Société; br. in-8° (en russe).

Étude théorique et expérimentale sur l'aimantation transversale des conducteurs magnétiques; par M. *Paul Janet* (Thèse). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1890; in-4°.

Mémoires de la Société d'émulation du Doubs, 6e série, 4e et 5e volumes, 1889 et 1891. Besançon, Dodivers, 1890; 2 vol. in-8°.

Académie des Sciences de Cracovie : Rocznik Zarzadu, rok 1888.

Pamietnik Wydzialu mathematyczno-przyrodniczego, t. XVI-XVII.

Rozprawy Wydzialu mathematyczno-przyrodniczego, t. XIX-XX.

Digitized by Google

Sprawozdanie Komisyi firzyjograficznej, t. XXII, XXIII, XXIV.

Société française d'accumulateurs électriques. — Faure-Sellon. — Volckmar. — Instructions. Paris, 1890; in-8°.

Congrès des Sociétés savantes. — Discours prononcés à la Séance générale du Congrès le samedi 31 mai 1890, par MM. *Maunoir* et *L. Bourgeois*, Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts; in-4°.

Manifestation en l'honneur de G.-A. Hirn. Médaille frappée à son effigie; 1 vol. in-4°.

Gesammelte Abhandlungen; von *G. Kirchhoff*. Leipzig, J.-A. Barth, 1882; 1 vol. in-8°.

Treatise on natural Philosophy; by *Sir William Thomson* and *Peter Guthrie Tait*. Cambridge, at the University Press, 1879 et 1883; 2 vol. in-8°.

Die Lehre von der Elektricität; von *Gustav Wiedemann*. Braunschweig, Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, 1882-1885; 5 vol. in-8°.

Wissenschaftliche Abhandlungen; von *H. Helmholtz*. Leipzig, J.-A. Barth; 1 vol. in-8°.

Experimental researches in Electricity; by *Michel Faraday*. London, Richard and John Edward Taylor, 1839-1844-1855; 3 vol. in-8°.

Digitized by Google

Digitized by Google

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

LISTE DES MEMBRES.

ANNÉE 1892.

Digitized by Google

Digitized by Google

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1892.)

BUREAU.

MM. VIOLLE, *Président.*
LIPPMANN, *Vice-Président.*
PELLAT, *Secrétaire général.*
CURIE (P.), *Secrétaire.*
TOUANNE (DE LA), *Vice-Secrétaire.*
GAY (J.), *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :		*Membres non résidants :*	
MM. ARSONVAL (D').	1890.	MM. DAMIEN (Lille).	1890.
BARON.		GUILLAUME (Zurich).	
CASPARI.		POLLARD (Brest).	
RENARD.		THOMPSON (S.P.) (Londres).	
BRILLOUIN.	1891.	GOUY (Lyon).	1891.
DEFFORGES.		HURION (Clermont-Ferrand).	
RIVIÈRE.		SARASIN (Genève).	
VIEILLE.		TEPLOFF (Saint-Pétersbourg).	
AMAGAT.	1892.	BLONDLOT (Nancy).	1892.
HOSPITALIER.		CHAPPUIS (P.) (Lausanne).	
KROUCHKOLL.		GÉRARD (ERIC) (Liège).	
LEDUC.		MOUTON (Fontenay-sous-Bois).	

Digitized by Google

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1873.	MM.	FIZEAU.
1874.		BERTIN.
1875.		JAMIN.
1876.		QUET.
1877.		BECQUEREL (Ed.).
1878.		BLAVIER.
1879.		BERTHELOT.
1880.		MASCART.
1881.		CORNU.
1882.		GERNEZ.
1883.		JANSSEN.
1884.		POTIER.
1885.		MAREY.
1886.		SEBERT.
1887.		WOLF.
1888.		ROMILLY (de).
1889.		MASCART.
1890.		MALLARD.
1891.		FRIEDEL.

MM. JOUBERT, *Secrétaire général honoraire.*
MAURAT, *Trésorier-Archiviste honoraire.*

Digitized by Google

MEMBRES HONORAIRES (¹).

MM. **FIZEAU** (**A.-H.-L.**), Membre de l'Institut.
STOKES (**G.-G.**), Professeur à l'Université de Cambridge.
Sir WILLIAM THOMSON, F.R.S., Professeur à l'Université de Glasgow.
BELL (**Alex. Graham**), de Washington.
BERTHELOT (**M.**), Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.
JANSSEN (**J.**), Membre de l'Institut.
BERTRAND (**J.**), Membre de l'Académie Française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

DONATEURS (²).

	fr
COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI.....	2000
COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI.....	1000
ANONYME (pour aider à la publication des Mémoires).....	5000

(¹) *Membres honoraires décédés :*

MM.	A. Becquerel.	1874-78.
	V. Regnault.	1876-78.
	Secchi.	1876-78.
	Billet.	1876-82.
	Plateau.	1880-83.
	Jamin.	1882-86.
	Edlund.	1884-88.
	Broch.	1878-89.
	Joule.	1878-89.
	Hirn.	1890-90.
	Ed. Becquerel.	1882-91.

Extrait des Statuts, Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'étranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(²) Les noms des personnes qui auront donné à la Société une somme supérieure ou égale à 500fr resteront inscrits, avec le chiffre de la donation, immédiatement après les Membres honoraires, et avant les Membres à vie, sous le titre de Donateurs. Les Membres à vie pourront acquérir ce titre en ajoutant une somme de 300fr à leur souscription perpétuelle. (Décision du Conseil du 1er décembre 1891).

Digitized by Google

MM. **GUEBHARDT**, agrégé à la Faculté de Médecine de Paris (pour l'amélioration de la Bibliothèque)..... 10000
ANONYME (pour aider à la publication du volume des constantes)..... 5000
JENNESSON, Principal de Collège (Legs)..... 500
ANONYME (Solde des comptes de la Société chez MM. Gauthier-Villars et fils)..... 5547,50
BISCHOFFSHEIM, Membre de l'Institut..... 1500
SAUTTER et **LEMONNIER**, Une machine dynamo.

MEMBRES A VIE (¹).

MM. D'Abbadie, Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.
* Abria, professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
* D'Almeida, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.
Alvergniat, Constructeur d'instruments de physique, 10, rue de la Sorbonne.
Angot, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.
Arnoux (René), Ingénieur civil, 16, rue de Berlin.
Baille, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.
Baume Pluvinel (Comte de la), 7, rue de la Baume.
Bardy, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.
Bandsept, Ingénieur, 58, chaussée de Wavre, à Bruxelles.
Baron, Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 64, rue Madame.
Berthelot, Sénateur, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.
Bienaymé, Directeur du matériel au Ministère de la Marine, 74, rue de Rennes.
Bischoffsheim (Raphaël-Louis), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout.
Bjerknes (Wilhelm), au laboratoire de Physique de l'Université de Christiania (Norwège).
* Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.
Blondin, Professeur au Lycée, Orléans.

(¹) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'État et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (Statuts, Art. III, dernier paragraphe.)

(*) Membres décédés.

Digitized by Google

MM. Blondlot, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.

Boitel, Professeur au Lycée Lakanal, 5, route de l'Haye à Bourg la Reine.

Bordet (Lucien), Inspecteur des Finances, ancien élève de l'École Polytechnique, 181, boulevard Saint-Germain.

Bouty, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

Branly, Professeur à l'École libre des Hautes Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville.

* Bréguet (Antoine), ancien élève de l'École Polytechnique.

Brewer, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 76, boulevard Saint-Germain.

Brillouin, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 23, rue de Sèvres.

* Brion, Professeur de Physique.

Brisse (Ch.), Répétiteur à l'École Polytechnique, 18, rue Vauquelin.

Broca (André), Ancien élève de l'École Polytechnique, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 211, boulevard Saint-Germain.

Buchin, 11, rue Roland, à Bordeaux.

* Cabanellas, Ingénieur électricien.

Cadot, Professeur au Lycée de Bourges.

Cailho, Ingénieur des Télégraphes, à Montpellier.

Canet, Directeur de l'Artillerie des forges et chantiers de la Méditerranée, 3, rue Vignon.

Carpentier, ancien élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de Physique, 34, rue du Luxembourg.

Carvallo, Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 19, villa Saïd.

Caspari, Ingénieur hydrographe de la Marine, 30, rue Gay-Lussac.

Chancel (Félix), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille.

Chaves (Antonio Ribeiro), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

Chervet, Professeur au Lycée Saint-Louis, 18, rue Nicole.

Colardeau (Emmanuel), Professeur au Collège Rollin, 25, rue Saint-Vincent-de-Paul.

Compagnie des Chemins de fer du Midi, 54, boulevard Haussmann.

Compagnie des Salins du Midi, 84, rue de la Victoire.

Contal, Préparateur de Physique au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.

Cornu, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

Curie (Pierre), Préparateur de Physique à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 13, rue des Sablons, à Sceaux.

Defforges (le Commandant G.), détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 41, boulevard de La Tour-Maubourg.

Digitized by Google

MM. Delebecque, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon.

Dollfus (Eugène), Chimiste, fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse.

Drouin (Félix), 21 *bis*, boulevard Port-Royal, Paris.

* Duboscq (Jules), Constructeur d'instruments de Physique.

Duclaux, Membre de l'Institut, Professeur à l'Institut agronomique, 35 *ter*, rue de Fleurus.

Duclos, ancien Directeur d'École normale à Cérisols, par Sainte-Croix de Volvestre (Ariège).

Dufet, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 130, boulevard du Montparnasse.

Dumoulin-Froment, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

Dybowski, Professeur au Lycée Charlemagne, 16, rue Rottembourg.

Engel, Professeur à l'École Centrale, 50, rue d'Assas.

Favé, Ingénieur hydrographe, 82, rue de l'Université.

Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 9, rue de Médicis.

Fontaine (Hippolyte), Ingénieur électricien, 52, rue Saint-Georges.

Foussereau, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 56, boulevard de Port-Royal.

Friedel, membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

Gariel (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

Gauthier-Villars, Libraire-Éditeur, 55, quai des Grands-Augustins.

Gay (Jules), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 6, rue de Mézières.

Gayon, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la station agronomique, 41, rue Permentade, à Bordeaux.

Gernez, Maître de conférences à l'École Normale supérieure, 18, rue Saint-Sulpice.

Godard (Léon), Docteur ès sciences, 82, boulevard Saint-Germain.

Godefroy (l'abbé), Professeur de Chimie à l'Institut catholique, 5. avenue d'Orléans.

Godron (H.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 18, rue du Vieux-Colombier.

Goloubitzky, Collaborateur de la Société des amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

* Gotendorf (Silvanus), 39, rue de Clichy.

Gramont (Armand de), Licencié ès Sciences, 81, rue de Lille.

Gray (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India Rubber, Gutta and telegraph works C° limited, à Londres.

Grosseteste (William), Ingénieur, 11, rue des Tanneurs, Mulhouse.

Grouvelle, Ingénieur, professeur à l'École Centrale, 26, rue des Écoles.

Guébhard, Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, Villa Mendiguren, à Nice.

Digitized by Google

MM. Hugo (Comte Léopold), 14, rue des Saints-Pères.

* Jamin, Membre de l'Institut.

Javal, Directeur du laboratoire d'Ophtalmologie à la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

* Jennesson, Ancien Principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

Jénot, Professeur au Collège Rollin, 17, rue Caulaincourt.

Joly, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 57, rue Claude-Bernard.

Joubert, Inspecteur de l'Académie de Paris, 67, rue Violet.

Kœchlin (Horace), Chimiste, 16, rue Masséna, à Lyon.

Laurent (Léon), Constructeur d'instruments d'optique, 21, rue de l'Odéon.

Leblanc, ancien Élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin Anglais, au Raincy.

Le Chatelier (André), Ingénieur des constructions navales, 25, cours Gambetta, à Lyon.

Le Chatelier (Louis), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 95, rue de Rennes.

Le Cordier (Paul), chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

Leduc, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 136, rue d'Assas.

Lemoine (E.), Ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

Lemonnier, ancien élève de l'École Polytechnique, 45, rue de Saint-Pétersbourg.

Lemström (Selim), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

Leroy, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail.

Lespiault, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Létang (Paul), 34, boulevard Saint-Michel.

Lippmann, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 4, carrefour de l'Odéon.

Lyon (Gustave), Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

Mach (Dr E.), Professeur de Physique à l'Université de Prague (Autriche).

Mallard, Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Mines, Professeur de Minéralogie à l'Ecole des Mines, 11, rue de Médicis.

Maneuvrier, Agrégé de l'Université, Sous-Directeur du Laboratoire des recherches à la Sorbonne, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.

Martin (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.

Mascart, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 176, rue de l'Université.

Masson (G.), Libraire-Editeur, 120, boulevard Saint-Germain.

Maurat, Professeur honoraire au Lycée Saint-Louis, à Rochecorbon (Indre-et-Loire).

Digitized by Google

MM. Menier (Henri), 8, rue de Vigny.
Meslin, Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Montpellier.
* Meyer (Bernard), Ingénieur des Télégraphes.
Molteni, Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.
* Moncel (comte du), Membre de l'Institut.
Montefiore (Lévi), Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique, à Liège.
Muirhead (Dr Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court, Temple E. C. Londres.
Nerville (de), Ingénieur des Télégraphes, 116, boulevard Haussmann.
* Niaudet, Ingénieur civil.
Ogier (Jules), Docteur ès Sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 1, quai d'Orsay.
Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.
Palmade, Professeur au lycée de Nîmes.
Pavlidès (Démosthènes), Docteur en Médecine, 14, rue Cadet.
Pellat, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.
Pérard (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liège (Belgique).
* Pérot, Dessinateur et Graveur.
Picou, Ingénieur des Arts et Manufactures, 75, avenue de la Grande-Armée.
Poincaré, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.
Poincaré (Lucien), Professeur au Lycée, à Marseille.
Potier, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.
Poussin (Alexandre), Ingénieur, au château de La Houblonnière, par Lisieux.
Pupin, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.
Puyfontaine (Comte de), 34, avenue Friedland.
Raffard (N.-J.), Ingénieur, 5, avenue d'Orléans.
Raymond, Ingénieur des Constructions navales à Toulon.
* Raynaud, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.
Renault, Licencié ès Sciences physiques, 25, rue Brézin.
Rigout (A.), Docteur en Médecine, 10, rue Gay-Lussac.
Rivière, Professeur au Lycée Saint-Louis, 17, rue Gay-Lussac.
Rodde (Ferd.), 3, cité Magenta.
Rodde (Léon), rua do Ouvidor, 107, à Rio de Janeiro (Brésil).
Rodocanachi (Emmanuel), 8, avenue Hoche.
Roger, Chef d'institution honoraire, 161, rue Saint-Jacques.
Romilly (de), 25, avenue Montaigne.
Romilly (Paul de), Ingénieur en Chef des Mines, 7, rue Balzac.
Sainte-Claire Deville (Emile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 9, rue Brémontier.

Digitized by Google

MM. * Sainte-Claire Deville (Henri), Membre de l'Institut.

Salet, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boul. Saint-Germain.

Schwedoff, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

Sebert, Général d'Artillerie de Marine, 13, rue de la Cerisaie.

Seligmann-Lui, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

* Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres.

Strauss, Capitaine du Génie, attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

Teploff, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg.

* Terquem, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille.

* Thollon, Physicien à l'Observatoire de Nice.

Touanne (de la), Ingénieur des Télégraphes, 13, rue Soufflot.

Tuleu, Ingénieur, 58, rue Hauteville.

Vagniez (Édouard), à Amiens.

* Van den Kerchove, Sénateur, Gand (Belgique).

Vaschy, Ingénieur des télégraphes, répétiteur à l'École Polytechnique, 68, avenue Bosquet.

Vautier (Théodore), Chargé des Conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

Verrier (Gabriel), Ingénieur électricien, ancien élève diplômé de l'École Centrale et de l'École supérieure de Télégraphie, 13, boulevard Saint-Germain.

Villiers (Antoine), agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

Violle, Maître de Conférences à l'Ecole Normale supérieure, 89, boulevard Saint-Michel.

Wallon (E.), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 24, rue de Saint-Pétersbourg.

* Warren de la Rue, Correspondant de l'Institut.

Weiss, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 119, boulevard Saint-Germain.

Weyher, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de machines, 36, rue Ampère.

Wunschendorff, Ingénieur des Télégraphes, 92, rue de Rennes.

Wyrouboff, Docteur ès Sciences, 141, rue de Rennes.

Appert (Louis); Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur verrier, 34, rue des Chasses, Clichy.

Babinski, Ingénieur civil des Mines, 54, rue Bonaparte.

Benoit (René), Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

Blondel, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 2, boulevard Raspail.

Digitized by Google

MM. Bourgeois (Léon), Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue du Cardinal-Lemoine.

Brunhes (Bernard), Agrégé, préparateur à la Faculté des Sciences, 61, rue Claude-Bernard.

Cauro (Joseph), Ancien élève de l'École Polytechnique, 6, rue Berthollet.

Chabaud (Victor), Constructeur d'instruments de précision, 12, rue de la Sorbonne.

Chabry (Dr L.), Docteur ès Sciences, 8, rue Halévy.

Chautard, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille, au Château de la Chapelle, par Croissanville (Calvados).

Claverie, Censeur du Lycée Lakanal, à Sceaux.

Culmann, Docteur ès Sciences, attaché à la maison Bréguet, 39, quai de l'Horloge.

Dambier, Professeur au Collège Stanislas, 16, rue du Luxembourg.

Galimard, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.

Gall (Henry), Directeur de l'Usine de produits chimiques, à Villers, par Hermes (Oise).

Gérard (Anatole), Ingénieur-Electricien, 16, rue des Grandes-Carrières.

Gouré de Villemontée, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy.

Husson, Contrôleur du câble télégraphique, à Haïphong (Tonkin).

Infreville (Georges d'), Électricien de la *Western Union Telegraph*, Expert de la *National Bell Telephone Co*, 110, Liberty Street, à New-York (États-Unis).

Janet (Paul), Chargé de cours à la Faculté des Sciences, 1, rue Molière, à Grenoble.

Kerangué (Yves de), Capitaine en retraite, à Kernouël, près Paimpol (Côtes-du-Nord).

Lechat, Professeur honoraire de Physique au Lycée Louis-le-Grand, 181, rue de Courcelles.

Le Chatelier (Henry), Ingénieur des Mines, Professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

Limb, Ingénieur, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 212, rue Saint-Jacques.

Macé de Lépinay, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamp, à Marseille.

Macquet (Auguste), Ingénieur au corps des Mines. Professeur à l'École des Mines du Hainaut, à Mons (Belgique).

Moser (Dr James), Privat-Docent à l'Université, VIII, Laudongasse, 43, à Vienne (Autriche).

Nogué (Émile), Attaché à la maison Pellin-Duboscq. 138, rue d'Assas.

Palmade, Capitaine du Génie, à Lille.

Pérot (Alfred), Chargé d'un Cours supplémentaire de Physique, à la Faculté des Sciences, 119, boulevard de Longchamps, à Marseille.

Digitized by Google

MM. Perreau, Agrégé-Préparateur au Collège de France.
Piltschikoff (Nicolas), Professeur à l'Université de Kharkoff (Russie).
Pollard (Jules), Ingénieur de la Marine, 28, rue Bassano.
Popp (Victor), Administrateur directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 54, rue Étienne-Marcel.
Rebouis, Professeur au Collège Stanislas, 23, rue Claude-Bernard.
Ribière (Charles), Ingénieur des ponts et chaussées attaché au service des phares, 6, rue Bizet.
Rozier (F.), Docteur en Médecine, 19, rue du Petit-Pont.
Serpollet, Ingénieur, 27, rue des Cloys.
Street (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, 71, rue Treilhard.
Thouvenel, Professeur au Lycée Buffon, 100, rue de Rennes.

Digitized by Google

Digitized by Google

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABBADIE (**d'**), Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

ABDANK-ABAKANOWICZ, Ingénieur, 88, quai du Parc, à Saint-Maur.

ABRAHAM, Agrégé-Préparateur de Physique à l'École Normale supérieure.

ADAM, Professeur au Lycée de Châteauroux.

ALBERT (**Fernand**), Professeur au Collège de Pontoise.

ALLUARD, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand.

ALVERGNIAT, Constr. d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.

AMAGAT, Correspondant de l'Institut, Répétiteur à l'École Polytechnique, 34, rue Saint-Lambert.

AMET (**E.**), Aux usines Saint-Hubert à Sézanne (Marne).

ANDRÉ (**Ch.**), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.

ANTHONISSEN (**Joseph**), 21, rue Hauteville.

APPERT (**Louis**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur verrier, 50, rue de Londres.

ARCHAMBAULT (**J.**), Professeur en retraite, 9, boulevard du Temple.

ARGYROPOULOS, Professeur de Physique à Athènes (Grèce).

ARMAGNAT, Ingénieur, 20, rue Delambre.

ARNOUX (**René**), Ingénieur civil, 16, rue de Berlin.

ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.

ARSONVAL (D^r **d'**), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur suppléant au Collège de France, 28, avenue de l'Observatoire.

ARTH, Chargé d'un Cours de Chimie industrielle à la Faculté des Sciences de Nancy.

ARTHAUD, Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 8 *bis*, rue Claude-Bernard.

ATTAINVILLE (**d'**), Docteur en Médecine, 7, rue Brunel.

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 139, rue de Rome.

AUDIBERT, Professeur au Collège de Béziers.

AYLMER (**John**), Ingénieur, 4, rue de Naples.

AYMONNET, Professeur de Physique, 6, rue Julienne.

BABINSKI, Ingénieur civil des Mines, 54, rue Bonaparte.

BABLON, 42, rue Boulard.

BAGNERIS (Dr **Eugène**), Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, 12, rue Grue, à Reims.

BAILLAUD, Directeur de l'Observatoire de Toulouse.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

BAILLY, Professeur au Lycée de Pau.

Digitized by Google

MM.

BANDSEPT, Ingénieur, 58, chaussée de Wavre, à Bruxelles (Belgique).

BANET-RIVET, Professeur au Lycée Charlemagne, 1, boulevard Morland.

BARBIER (**Paul**), Ingénieur, 39, rue de l'Arcade.

BARDEL, Libraire, à Évreux.

BARDY, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.

BARON, Directeur à l'Administration des Postes et Télégraphes, 64, rue Madame.

BARRAUD (**Ph.**), Docteur en Médecine, 50, rue Saint-Placide.

BARY (**Paul**), Ingénieur électricien, 5, rue Gay-Lussac.

BASSET, Professeur au Lycée de Bourges.

BASSOT, Lieutenant-Colonel du Génie, Chef de la Section de Géodésie au Service géographique de l'armée, 16, rue Saint-Dominique.

BASTIDE, Employé au Secrétariat de la Faculté des Sciences de Paris.

BAUDOT, Inspecteur-Ingénieur des lignes télégraphiques, 6, rue Mayet.

BAUME PLUVINEL (**Comte Aymar de la**), 7, rue de La Baume.

BEAULARD (**Fernand**), Professeur au Lycée, 1, rue Adanson, à Aix.

BÉCORDEL (**H. de**), Receveur principal à Grasse.

BECQUEREL (**Henri**), Membre de l'Institut, Répétiteur à l'École Polytechnique, 21, boulevard Saint-Germain.

BÉDOREZ, Inspecteur d'Académie, 15, quai du Foix, à Blois.

BEDOS (**Ph.**), Professeur au Lycée, 19, boulevard du Canal, à Carcassonne.

BEGHIN (**Auguste**), Professeur à l'École nationale des Arts industriels, 20, rue Vauban, à Roubaix.

BELL (**Alexander Graham**), 95, Scott Circle, Washington D. C. (U. S. A).

BELLATI (**Manfredo**), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

BENAVIDES (**Francisco da Fonseca**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIT (**René**), Docteur ès sciences, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.

BERGER (**Georges**), Député, 8, rue Legendre.

BERGERON (**J.**), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire de Géologie à la Faculté des Sciences, 157, boulevard Haussmann.

BERGET (**Alphonse**), Docteur ès sciences attaché au laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne, 14, avenue des Gobelins.

BERGON, Ancien Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 56, rue Madame.

BERGONIÉ (D^r^), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine, 27, rue Gouvion, à Bordeaux.

BERNARD (**Alfred**), Professeur au Lycée de Périgueux.

BERSON, Professeur à la Faculté des Sciences, 3, avenue Frisac, à Toulouse.

BERTHELOT, Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 3, rue Mazarine.

Digitized by Google

MM.

BERTHELOT (**Daniel**), Docteur ès sciences, Préparateur à la Faculté des Sciences, 3, rue Mazarine.

BERTIN-SANS, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

BERTRAND (**J.**), Membre de l'Académie Française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 4, rue de Tournon.

BERTRAND (**A.-L.**), Capitaine du Génie, attaché à la Section technique du Génie au Ministère de la Guerre, 8, rue Saint-Dominique.

BESANÇON (**M.-J.**), Professeur à l'École Turgot, 15, quai de Valmy.

BESOMBES (**Noël**), Inspecteur des postes et télégraphes, 2, place Saint-Michel. à Marseille.

BESSON (**Léon**), Ancien Officier de Marine, Sous Chef de l'Exploitation à la Compagnie générale Transatlantique, 11, rue Perdonnet.

BEZODIS, Professeur au Lycée Henri IV, 9 *bis*, rue Le Goff.

BIBLIOTHÈQUE DES FACULTÉS, à Caen.

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE DE LILLE.

BIBLIOTHÈQUE ROYALE DE BERLIN.

BICHAT, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy, 1 *bis*, rue des Jardiniers.

BIDAUX (**Maurice**), Pharmacien de 1re classe, à Chaville.

BIENAYMÉ, Directeur du matériel au Ministère de la marine, 74, rue de Rennes.

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout.

BJERKNES (**Vilhelm**), au Laboratoire de Physique de l'Université de Christiania (Norwège).

BLOCH (**Salvator**), Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand.

BLONAY (**Roger de**), 23, rue Larochefoucauld.

BLONDEL, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 2, boulevard Raspail.

BLONDIN, Professeur au Lycée, Venelle de Gien, villa Bombarde, à Orléans.

BLONDLOT (**R.**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.

BOBILEFF, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOITEL, Professeur au Lycée Lakanal, 5, route de l'Hay, à Bourg-la-Reine.

BOCAT (**l'abbé**), Licencié ès sciences physiques, Professeur au Collège Saint-François-de-Salles, rue Vannerie, à Dijon.

BONAPARTE (**Prince Roland**), 22, Cours la Reine.

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 108, rue des Ternes.

BONVALOT, Ingénieur-Constructeur d'instruments de précision, 1, place Saint-Jean, à Dijon.

BORDET (**Lucien**), ancien Élève de l'École Polytechnique, Inspecteur des Finances, 181, boulevard Saint-Germain.

BOREL, Docteur en Médecine, à Vizille (Isère).

BORGMANN, Professeur à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

Digitized by Google

MM.

BOUANT, Professeur au Lycée Charlemagne, 20, rue Monsieur-le-Prince.

BOUASSE (**Henri**), Agrégé-Préparateur de Physique au Collège de France, 119, boulevard Saint-Michel.

BOUCHER (**Ch.**), Préfet des Études au Collège Chaptal, 45, boulevard des Batignolles.

BOUDRÉAUX, Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 5, place Jussieu.

BOULANGER, Commandant du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 4, rue d'Alençon.

BOURGEOIS (**Léon**), Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue du Cardinal-Lemoine.

BOURRUT-DUVIVIER, Professeur à l'École Navale, 89, rue de Siam, à Brest.

BOUSQUET (**E.**), Directeur de l'École normale de Nice.

BOUTAN, Inspecteur général de l'Instruction publique, 172, boul. Voltaire.

BOUTET DE MONVEL, Professeur en retraite, 5, rue des Pyramides.

BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

BOZZOLA (**l'abbé J.-B.**), Professeur au Séminaire de Padoue (Italie).

BRACHET (**Henri**), Ingénieur, Électricien, 3, quai Fulchiron, à Lyon.

BRANLY (**E.**), Professeur à l'Ecole libre des Hautes Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville.

BREWER (**William J.**), Constructeur d'instruments pour les sciences, 76, boul. Saint-Germain.

BRIEU (**Georges**), Professeur à l'École Normale, 12, rue des Forgerons, à Périgueux.

BRILLOUIN (**Marcel**), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 23, rue de Sèvres.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne du gaz, 7 *bis*, rue de l'Aqueduc.

BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 18, rue Vauquelin.

BROCA (**André**), ancien Élève de l'École Polytechnique, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 211, boulevard Saint-Germain.

BROUQUIER (**l'abbé**), Directeur du petit Séminaire de Toulouse.

BROWNE (**H.-V.**), Représentant de la compagnie Direct Spanish Telegraph, à Barcelone (Espagne).

BRUNHES (**Julien**), Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

BRUNHES (**Bernard**), Agrégé-Préparateur à la Faculté des Sciences, 61, rue Claude-Bernard.

BRUNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

BUCHIN, 11, rue Rolland, à Bordeaux.

BUDDE (D^r^), Rédacteur au *Fortschritte*, Lessingstrasse, à Berlin.

BUGUET (**Abel**), Professeur au Prytanée Militaire, 75 *bis*, rue de l'Hôtel-de-Ville, à La Flèche.

BUISSON (**Maxime**), Chimiste, rue Saint-Thomas, à Évreux.

Digitized by Google

MM.

CADIAT, Ingénieur, 62, rue des Tournelles.

CADOT, Professeur au Lycée de Bourges.

CAEL, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 31, rue Saint-Guillaume.

CAILHO, Ingénieur des Télégraphes, à Montpellier.

CAILLETET, Membre de l'Institut, à Châtillon-sur-Seine, et 75, boulevard Saint-Michel.

CAILLOL DE PONCY, Professeur à l'École de Médecine, 8, rue Clapier, à Marseille.

CALMETTE, Professeur au prytanée militaire de la Flèche.

CANCE, Ingénieur électricien, 9, rue de Rocroy.

CANET (**Gustave-Adolphe**), Directeur de l'Artillerie des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 3, rue Vignon.

CARPENTIER, ancien Élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de Physique, 34, rue du Luxembourg.

CARRÉ, Professeur au Collège de Tulle.

CARIMEY, Professeur au Lycée de Besançon.

CARVALLO, Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 19, villa Saïd.

CASALONGA, Ingénieur civil, 11, rue des Déchargeurs.

CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 30, rue Gay-Lussac.

CAURO (**Joseph**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 6, rue Berthollet.

CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.

CAVIALE, Professeur de Physique à l'École Normale de Versailles, boulevard de Lesseps, à Versailles.

CAVAILLÈS, Préparateur de Physique au Lycée de Nice.

CAZES, Maître répétiteur au Lycée Saint-Louis.

CHABAUD (**Victor**), Constructeur d'instruments de précision, 12, rue de la Sorbonne.

CHABERT (**Léon**), Ingénieur électricien, 194, rue de Rivoli.

CHABRERIE, Principal du Collège de Treignac (Corrèze).

CHABRIÉ (**Camille**), Docteur ès Sciences, 9, avenue de Saxe.

CHABRY (Dr **L.**), Docteur ès sciences, 8, rue Halévy.

CHAMAND (**Joseph**), Chef de bataillon au 46e territorial, Nancy.

CHAMANTOFF (**Nicolas**), Préparateur au cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

CHAMBERT (**Paul**), rue de la Manufacture, à Châteauroux.

CHANCEL (**Félix**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille.

CHAPERON (**Georges**), Ingénieur civil des Mines, Répétiteur à l'Ecole Polytechnique.

CHAPPUIS (**James**), Professeur à l'École centrale, 5, rue des Beaux-Arts.

CHAPPUIS (**Pierre**), attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

CHAPUY (**Paul**), Ingénieur des Mines, à Lille.

Digitized by Google

MM.

CHARDONNET (**le Comte de**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 20, place de l'État-Major, à Besançon, et 43, rue Cambon, à Paris.

CHARTRAND, Docteur en Médecine, Professeur à l'Université de Montréal (Canada).

CHASSAGNY, Professeur au Lycée de Gap.

CHATELAIN (**Michel**), au Laboratoire de l'Université, à St-Pétersbourg (Russie).

CHAUSSEGROS, Ingénieur, chef de traction au chemin de fer, 3, place Jussieu.

CHAUTARD, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille, au Château de la Chapelle, par Croissanville (Calvados).

CHAUVEAU, ancien Élève de l'Ecole Normale Supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau Central, 51, rue de Lille.

CHAUVIN, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Toulouse.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

CHENEVIER, Directeur du Laboratoire de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, 1, rue Henri IV, à Bordeaux.

CHERVET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 18, rue Nicole.

CHIBOUT, Ingénieur, Constructeur d'appareils de chauffage, 36, rue Notre-Dame-des-Champs.

CHISTONI (**CIRO**), Professeur à l'Université de Modène (Italie).

CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.

CLAVEAU, Professeur au Lycée de Vesoul.

CLAVERIE, Censeur du Lycée Lakanal, à Sceaux.

COLARDEAU (**P.**), Professeur au Lycée de Lille.

COLARDEAU (**Emmanuel**), Professeur au Collège Rollin, 25, rue Saint-Vincent-de-Paul.

COLLOT (**Armand**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'Instruments de précision, 8, boulevard Edgar-Quinet.

COLNET D'HUART (**de**), Membre de l'Académie Royale de Belgique, ancien Directeur des finances du Grand-Duché de Luxembourg, à Luxembourg.

COLNET D'HUART (**François de**), Docteur ès Sciences, Professeur à l'Athénée, avenue Reinsheim, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLSON (**R.**), Capitaine du Génie, 66, rue de la Pompe.

COMBES (**A.**), Docteur ès sciences, Ancien élève de l'École Polytechnique, 14, rue du Val-de-Grâce.

COMBES (**Charles**), Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles, 119 *bis*, rue Notre-Dame-des-Champs.

COMBET (**Candide**), Professeur au Collège de Pontarlier.

COMBETTE, Inspecteur général de l'Université, 63, rue Claude-Bernard.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI, 54, boulevard Haussmann.

COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI, 84, rue de la Victoire.

CONTAL, Préparateur de Physique au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.

CORNU, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

CORVISY (**A.**), Professeur au Lycée, 75, rue Carnot, à Saint-Omer.

Digitized by Google

MM.

COUETTE (**Maurice**), Docteur ès sciences, Professeur à la Faculté libre, 26, rue Appert, Angers.

COUPIER, à Saint-Denis-Hors, par Amboise.

COURQUIN (**l'abbé**), Professeur de filature à l'École industrielle, 174, rue de Lille, à Tourcoing.

COURTOY, Professeur à l'École vétérinaire, 47, rue Bara, à Bruxelles.

CROIX (**Victor**), Professeur au Collège communal, avenue du Clos, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

CROVA, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 14, rue du Carré-du-Roi, Montpellier.

CUÉNOD, Ingénieur électricien, 10, boulevard Voltaire, à Genève.

CULMANN, Docteur ès sciences, attaché à la maison Bréguet, 39, quai de l'Horloge.

CURIE (**Pierre**), Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 13, rue des Sablons, à Sceaux.

DAGUENET, Professeur au Lycée, 8, rue Montbauron, à Versailles.

DAMBIER, Professeur au Collège Stanislas, 131, boulevard Raspail.

DAMIEN, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille, 49, rue Brûle-Maison.

DEDET (**François**), Professeur honoraire de Physique, à Albi.

DEFFORGES (le Commandant **G.**), détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 41, boulevard de Latour-Maubourg.

DÉGOSSES (**L.**), Professeur au Collège de Pontoise.

DELAURIER, Ingénieur, 77, rue Daguerre.

DELEBECQUE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon.

DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.

DELEVEAU, Professeur au Lycée, 39, rue de Lodi, à Marseille.

DEMERLIAC, Professeur au Lycée de Caen.

DE METZ, Privat-Docent à l'Université d'Odessa (Russie).

DEMICHEL, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 24, rue Pavée-au-Marais.

DENZA (**R. P.**), Directeur de l'Observatoire « Specula Vaticana », Rome (Italie).

DEPREZ (**Marcel**), Membre de l'Institut, 23, avenue Marigny, à Vincennes.

DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.

DESLANDRES, ancien Élève de l'École Polytechnique, 43, rue de Rennes.

DESPRATS (**André**), Principal du Collège de Villefranche-sur-Saône (Rhône).

DESROZIERS, Ingénieur civil des Mines, 74, rue Condorcet.

DETAILLE (**Charles**), Professeur au Lycée, 18, rue Charbonnerie, à Saint-Brieuc.

DEVAUX, Professeur au Lycée de Lorient.

DEVAUX (**Henri**), Docteur ès sciences, à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

D'HENRY (**Louis**), 6, boulevard de Port-Royal.

Digitized by Google

MM.

DIDIER (**P.**), Examinateur à l'École spéciale militaire de Saint-Cyr, 8, rue Gay-Lussac.

DIETRICH (**Ch.**), Dessinateur et graveur, 3, rue Hautefeuille.

DIERMAN (**William**), Ingénieur électricien, Directeur de la Société anonyme belge pour l'éclairage et la transmission électrique à grande distance, 286, rue Rogier, à Bruxelles (Belgique).

DINI, Ingénieur de la Maison Dumoulin-Froment, 49, rue Saint-Placide.

DOIGNON (**L.**), Ingénieur, 51, rue du Four.

DOLLFUS (**Eugène**), Chimiste, fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse (Alsace).

DONGIER, à l'Observatoire de Toulouse.

DOUCEUR, Directeur des postes et télégraphes, retraité, 42, rue Jouffroy.

DRINCOURT, Professeur au Collège Rollin, 7, rue Frochot.

DROUIN (**Félix**), Ingénieur, 21 *bis*, boulevard de Port-Royal.

DUBOIS, Professeur au Lycée, 31, rue Cosette, à Amiens.

DUBOIS, Professeur au Lycée Montaigne, 56, boulevard de Port-Royal.

DUBOSCQ (**Albert**), Constructeur d'instruments d'Optique et de précision, 55, rue Saint-Jacques.

DUCHEMIN, Ingénieur, 37, boulevard de la Tour-Maubourg.

DUCLAUX, Membre de l'Institut, Professeur à l'Institut agronomique, 35 *ter*, rue de Fleurus.

DUCLOS, Ancien Directeur d'École normale, à Cerisols, par Sainte-Croix-de-Volvestre (Ariège).

DUCOMET, Ingénieur, 7-9, rue d'Abbeville.

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue Claude-Bernard.

DUFET, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 130, boulevard Montparnasse.

DUFOUR (**Henri**), Professeur de Physique à l'Université La Casita, à Lausanne (Suisse).

DUHEM (**P.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 78, rue Caumartin, à Lille.

DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

DUPAYS (**Charles**), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 51, rue Scheffer, Villa 17, Passy-Paris.

DUPRÉ, Inspecteur de l'Académie de Paris, 136 *bis*, avenue de Neuilly, à Neuilly (Seine).

DUSSY, Professeur au Lycée, rue Montigny, à Dijon.

DUTER, Professeur au Lycée Henri IV, 16, rue Bertin-Poiré.

DVORÁK (**Dr V.**), Professeur à l'Université d'Agram (Autriche-Hongrie).

DYBOWSKI (**A.**), Professeur au Lycée Charlemagne, 16, rue Rottembourg.

EBEL, Ingénieur en Chef du Secteur électrique des Champs-Élysées, 52, faubourg Saint-Honoré.

Digitized by Google

MM.

ÉCOLE MUNICIPALE DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE INDUSTRIELLES (**le Major de la 3e année**).

EDELBERG, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).

EGOROFF (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

EICHTHAL (baron **d'**), 42, rue Neuve-des-Mathurins.

EIFFEL (**Gustave**), Ingénieur, 1, rue Rabelais.

ÉLIE (**B.**), Professeur au Collège, 90, rue de la Pointe, à Abbeville.

ENGEL, Professeur à l'École Centrale, 50, rue d'Assas.

ESTRADA (**Francisco**), Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

ÉTARD (**Alexandre**), Préparateur de Physique à l'École de Physique et de Chimie, 42, rue Lhomond.

FABRY (**Charles**), Professeur au Lycée de Bordeaux.

FAURE (**Camille A.**), Ingénieur, 31, rue Lesdiguières, à Grenoble.

FAVÉ, Ingénieur hydrographe de la Marine, 82, rue de l'Université.

FAVARGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

FAYE, Membre de l'Institut, 95, avenue des Champs-Élysées.

FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 9, rue de Médicis.

FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de l'Estrapade.

FONTAINE (**Hippolyte**), Ingénieur électricien, 52, rue Saint-Georges.

FONTAINE, Chimiste, 20, rue Monsieur-le-Prince.

FOURNIER (le Dr **Alban**), à Rambervillers (Vosges).

FOURTEAU, Proviseur du Lycée Janson de Sailly.

FOUSSEREAU, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 56, boulevard de Port-Royal.

FRICKER (le Dr), 39, rue Pigalle.

FRIDBLATT (**A.**), Directeur des Postes et Télégraphes, à Chaumont.

FRIEDEL, Membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 19, rue de Sèvres.

GAIFFE (**Georges**), Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.

GALANTE, Constructeur d'instruments de Chirurgie, 2, rue de l'École-de-Médecine.

GALIMARD, Pharmacien de 1re classe, rue des Forges, à Dijon.

GALL (**Henry**), Directeur de l'Usine des Produits chimiques, à Villers, par Hermes (Oise).

GARBAN, Inspecteur d'Académie, à Alençon.

GARBE, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

GARÉ (l'Abbé), Professeur à l'École Saint-Sigisbert, à Nancy.

GARIEL (**C.-M.**), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

Digitized by Google

MM.

GARNUCHOT, Professeur au Collège, 37, rue Saint-Barthélemy, à Melun.

GAUBERT, Horloger-Électricien, à Gruissan (Aude).

GAUTHIER-VILLARS, Imprimeur-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAUTHIER-VILLARS (**Albert**), Imprimeur-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAY (**Henri**), Professeur en congé, 20, boulevard de Port-Royal.

GAY (**Jules**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 6, rue de Mézières.

GAYON, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 41, rue Permantade, à Bordeaux.

GENDRON (**Rodolphe**), Préparateur à l'École libre des hautes études scientifiques et littéraires, 25, rue Campagne-Première.

GÉRARD (**Anatole**), Ingénieur électricien, 16, rue des Grandes-Carrières.

GÉRARD (**Éric**), Directeur de l'Institut électrotechnique de Montefiore, à Liège.

GERNEZ, Maître de conférences à l'École Normale supérieure, 18, rue Saint-Sulpice.

GHESQUIER (l'Abbé), Professeur au Collège, 76, rue du Collège, à Roubaix.

GILBAULT, Professeur au Lycée, 31, rue Pargaminière, à Toulouse.

GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, Membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique, 90, rue Claude-Bernard.

GIRAULT, Professeur au Collège Chaptal, 8, rue Claude-Pouillet.

GIROUX, Ingénieur opticien, successeur de M. Roulot, 58, quai des Orfèvres.

GODARD (**Léon**), Docteur ès Sciences, 82, boulevard Saint-Germain.

GODEFROY (l'Abbé **L.**), Professeur de Chimie à l'Institut catholique, 5, avenue d'Orléans.

GODFRIN, Professeur au Lycée, 12, rue André, à Lille.

GODRON (**Henri**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 18, rue du Vieux-Colombier.

GODY (**G.**), Architecte du département des travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOLAZ (**L.**), Constr. d'instruments à l'usage des Sciences, 282, rue Saint-Jacques.

GOLÜHAMMER (**Démétrius**), Privat-docent de Physique à l'Université de Kasan (Russie).

GOLOUBITZKY (**Paul**), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

GOSSART (**Fernand**), Docteur en droit, 15, rue Tronchet.

GOSSART (**Émile**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 23, rue Bosnières, à Caen.

GOSSIN, Proviseur du Lycée Ampère, à Lyon.

GOURÉ DE VILLEMONTÉE, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy.

GOUY, Professeur à la Faculté des Sciences, 4, cours Perrache, à Lyon.

GRAJON (**A.**), Docteur en Médecine à Vierzon.

GRAMONT (**Armand de**), Licencié ès Sciences physiques, 81, rue de Lille.

Digitized by Google

MM.

GRAVIER (**Alfons**), Ingénieur électricien, 8, rue Charlet.

GRAY (**Matthew**), Directeur de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, Silwertown, Essex, à Londres.

GRÉHANT (Dr), Directeur-adjoint du Laboratoire de Physiologie générale, au Muséum, 17, rue Berthollet.

GRELLEY, Directeur de l'École Supérieure du Commerce, 102, rue Amelot.

GREZEL (**Louis**), Professeur de Physique au Collège d'Autun.

GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences, 12, rue du Mont-Thabor, à Rennes.

GRIVEAUX, Professeur au Lycée, 16, rue Montbrillant, à Mont-Plaisir (Lyon).

GROGNOT (**L.**), Chimiste, Essayeur du Commerce, rue du Bourg, à Chantenay-sur-Loire (Maison Chopin) (Loire-Inférieure).

GROOT (le P. **L.-Th. de**), Kerkstraat, 14, Oudenbosch (Hollande).

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 11, rue des Tanneurs, à Mulhouse.

GROUVELLE, Ingénieur, Professeur à l'École Centrale, 26, rue des Écoles.

GRUEY-VIARD, Constructeur d'instruments de Physique, rue de la Liberté, à Dijon.

GUEBHARD (Dr **Adrien**), Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, villa Mendiguren, à Nice.

GUELPA, Principal du Collège de Blidah (Algérie).

GUERBY (**A.**), Professeur en retraite, boulevard Fragonard, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUÈROULT (**Georges**), Trésorier-Payeur général, à Rennes.

GUILLAUME (**Ch.-Ed.**), Docteur ès sciences, attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

GUILLEBON (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 11, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

GUILLEMIN (l'abbé), Professeur de Sciences mathématiques et physiques à l'Externat de la rue de Madrid, 4, avenue Marigny.

GUNTZ, Professeur à la Faculté des Sciences, 15, rue de Metz, à Nancy.

GUYE (**Philippe A.**), Docteur ès sciences, Professeur de Chimie à l'Université, 83, route du Chêne, à Genève (Suisse).

HAGENBACH-BISCHOFF, Professeur à l'Université de Bâle (Suisse).

HALLER (**A.**), Professeur de Chimie générale à la Faculté des Sciences de Nancy.

HANRIOT, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, à Joppécourt, par Mercy-le-Bas (Meurthe-et-Moselle).

HAUDIÈ (**Edgard**), Agrégé-Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 30, avenue de l'Observatoire.

HENOCQUE (le Dr), Directeur-adjoint au Laboratoire de Médecine de l'École des Hautes Études au Collège de France, 11, avenue Matignon.

HENRY (**Édouard**), Professeur au Lycée, 47, rue de la Comédie, à Lorient.

Digitized by Google

MM.

HEPITÈS (**Stefan**), Directeur de l'Institut météorologique de Roumanie, à Bucarest.

HESEHUS (**N.**), Professeur à l'Institut Technologique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

HILLAIRET (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 22, rue Vicq-d'Azir.

HODIN, Agrégé de l'Université, 45, rue d'Ulm.

HOMÉN (**Theodor**), Docteur ès sciences, agrégé à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

HOSPITALIER, Ingénieur des arts et manufactures, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 6, rue de Clichy.

HOSTEIN, Professeur au Lycée, 37, rue Isabey, Nancy.

HUDELOT, Répétiteur à l'École Centrale, 10, rue Saint-Louis en l'Ile.

HUGO (le Comte **Léopold**), 14, rue des Saints-Pères.

HUGON, Ingénieur, 77, rue de Rennes.

HUGUENY, Prof. honoraire de Faculté, 19, rue des Frères, à Strasbourg.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences, 65, rue Blattin, Clermont-Ferrand.

HURMUZESCU (**Dragomir**), Licencié de la Faculté de Bucarest, 22, rue Berthollet.

HUSSON (**Léon**), Contrôleur du Câble télégraphique à Haïphong (Tonkin).

HUTIN (**Maurice**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 16, rue de Saint-Pétersbourg.

IMBERT (**Armand**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

INFREVILLE (**Georges d'**), Ex-Électricien de la *Western Union Telegraph C°*, Expert de la *National Bell Telephone C°*, 110, Liberty street, à New-York (États-Unis).

IVANOFF (**Basile**), Licencié ès sciences (maison Ivanoff), à Simpheropol (Russie).

JABLOCHKOFF, Ingénieur, 3, rue Théry, à Passy.

JANET (**Paul**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 1, rue Molière, à Grenoble.

JANNETTAZ (**Ed.**), Maître de conférences à la Faculté des Sciences, Assistant de Minéralogie au Museum, 86, boulevard Saint-Germain.

JANNIN, Professeur de Physique en retraite, 10, rue du Jardin national, à Albi.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.

JARNIGON (**Georges**), Ingénieur Électricien, 63, rue Saint-Denis.

JARRE (**L.**), 2, rue des Pyramides.

JAUMANN (**G.**), Assistant au Laboratoire de Physique de l'Université de Prague (Autriche).

Digitized by Google

MM.

JAVAL, Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie de la Faculté des Sciences, 58, rue de Grenelle.

JÉNOT, Professeur au Collège Rollin, 17, rue Caulaincourt.

JEUNET, Professeur au Lycée, 131, rue Moulogis, à Angoulême.

JOANNIS (l'abbé **de**), Licencié ès Sciences physiques et mathématiques, 15, rue Monsieur.

JOLY, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 57, rue Claude-Bernard.

JOLY (**Léon**), Inspecteur du Crédit Foncier.

JOLY (Commandant **E.-L.**), Chef du Dépôt central de la Télégraphie militaire, 19, rue Boislevent.

JOUBERT, Inspecteur de l'Académie de Paris, 67, rue Violet.

JOUBIN, Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Besançon.

JOUET, 60, rue Pierre-Charron.

JOUKOWSKI (**Nicolas**), Professeur de Mécanique à l'Université et à l'École des Hautes Études de Moscou (Russie).

JOYEUX (**Eugène**), 5, route de Versailles, à Chaville.

JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

JUSSIEU (**F. de**), Imprimeur, Directeur du journal *l'Autunois*, 4, Grand'Rue, à Autun.

KAREIS (**Josef**), 7 Niebelungengasse, à Vienne (Autriche).

KERANGUÉ (**Yves de**), Capitaine en retraite, à Kernouël, près Paimpol (Côtes-du-Nord).

KŒCHLIN (**Horace**), Chimiste, 16, rue Masséna, à Lyon.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 27, quai d'Anjou.

KOTCHOUBEY, Président de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

KOWALSKI, Prof. à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 1, rue de Grassi, à Bordeaux.

KREICHGAUER, Docteur ès Sciences, 22, Berlinerstrasse, Charlottemburg, près Berlin.

KROUCHKOLL, Docteur ès Sciences, 17, rue du faubourg Saint-Jacques.

LABATUT, Professeur suppléant à l'École de Médecine et de Pharmacie de Grenoble.

LACOINE (**Émile**), Ingénieur-Électricien, 11, rue Asmali Medjid, à Constantinople (Turquie).

LAFFARGUE (**Joseph**), Licencié ès Sciences physiques, Chef de la Station municipale d'Électricité des Halles Centrales, 4, boulevard Sébastopol.

LAFLAMME (l'abbé), Membre de la Société Géologique de France, Professeur à l'Université Laval, à Québec (Canada).

LAFOREST (Comte **de**), Général de brigade, à Albi.

LAGRANGE (**L.**), Professeur de Physique à l'École militaire, 26, rue Vilain XIV, à Bruxelles (Belgique).

Digitized by Google

MM.

LALA (**Ulysse**), Docteur ès Sciences, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, Professeur de Mécanique à l'École des Beaux-Arts et des Sciences industrielles, 11, rue d'Abuisson, à Toulouse.

LALANDE, Libraire, à Brives.

LALANDE (**de**), Ingénieur civil des Mines, ancien élève de l'École Polytechnique, 106, boulevard Saint-Germain.

LANCELOT, Constructeur d'Instruments d'acoustique, 70, avenue du Maine.

LANGLADE, Ingénieur de la Cie d'éclairage électrique, 19 *bis*, place du Palais de Justice, à Tours.

LAROCHE (**Félix**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 110, avenue de Wagram.

LAROCQUE, Directeur de l'École des Sciences, à Nantes.

LAROUSSE, Professeur au Collège, 28, place Jeanne-Hachette, à Beauvais.

LARUE, ancien magistrat, 4, rue Volney.

LATCHINOW, Professeur à l'Institut du corps forestier, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LATOUR, Professeur au Lycée, 4bis, petite rue Volney, à Angers.

LAURENT (**Léon**), Constructeur d'instruments d'Optique, 21, rue de l'Odéon.

LAVIÉVILLE, Professeur au Lycée Condorcet, 56, rue de Lisbonne.

LAURIOL (**P.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 83, boulevard Saint-Michel.

LAWTON (**George Fleetwood**), Ingénieur-Directeur de l'Eastern Telegraph C°, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

LEBLANC (**Maurice**), ancien élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin-Anglais, au Raincy.

LECAT, Professeur au Lycée Janson de Sailly, 7, rue Gustave Courbet.

LECHAT, Professeur honoraire au Lycée Louis-le-Grand, 181, rue de Courcelles.

LE CHATELIER (**André**), Ingénieur des constructions navales, 25, cours Gambetta, à Lyon.

LE CHATELIER (**Henry**), Ingénieur des Mines, professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

LE CHATELIER (**Louis**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 95, rue de Rennes.

LE CHÂTONNIER, Chimiste en chef des Douanes, à Rouen.

LE CORDIER (**Paul**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, 54, rue de Bordeaux, à Chamalières.

LEDEBOER, Docteur ès sciences, 53, rue du Four.

LE DOLLEY, Inspecteur des Postes et Télégraphes, 15, rue Terme, à Lyon-Central.

LEDUC, Professeur au Lycée Louis le Grand, 136, rue d'Assas.

LEFEBVRE, Capitaine au 95e d'infanterie, au camp d'Avor.

LEFEBVRE (**E.**), Professeur au Lycée, 18, rue Montbauron, à Versailles.

LEFEBVRE (**Victor**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 70, avenue du Maine.

LEFEVRE (**Julien**), Professeur au Lycée, 2, place Saint-Pierre, à Nantes.

Digitized by Google

MM.

LELORIEUX (**V.**), Professeur au Lycée Lakanal, 147, boulevard Saint-Michel.

LEMOINE (**E.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

LEMOINE (**G.**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 76, rue d'Assas.

LEMOINE (**Jules**), Professeur au Collège de Melun.

LEMONNIER (**Paul**), Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur constructeur, 43, rue de Saint-Pétersbourg.

LEMSTRÖM (**Selim**), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

LÉON (**Gustave**), Ingénieur des Mines, à Albi.

LEPERCQ (**Gaston**), Professeur de Chimie à la Faculté libre, 25, rue du Plat, à Lyon.

LERAY (l'Abbé **Ad.**), Eudiste, 23, rue des Fossés-Saint-Jacques.

LERMANTOFF, Préparateur au Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

LEROY, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail.

LEROY, Médecin-Major de 2e classe au 157e régiment d'infanterie, au camp de Sathonay (Ain).

LESAGE, Professeur au Lycée de Châteauroux.

LESCHI, Professeur au Collège de Corte.

LESOBRE, Professeur au Collège de Melun.

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

LÉTANG (**Paul**), 34, boulevard Saint-Michel.

LÉVY (**Armand**), Professeur de Physique, rue de Cazault, 120, à Alençon.

LIBERT (**J.-C.-D.**), Professeur au Collège de Morlaix.

LIMB, Ingénieur-Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 212, rue Saint-Jacques.

LIPPICH (**Fr.**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 4, carrefour de l'Odéon.

LORRAIN (**James-Grieves**), Consulting Engineer Norfolk House, Norfolk street, London. W. C.

LOUGUININE (**W.**), Dr honoraire de l'Université de Moscou, Propriété de La Pelouze, à Bex, canton de Vaud (Suisse).

LUCCHI (Dr **Guglielmo de**), Professeur de Physique au Lycée royal Tito Livio, Padoue (Italie).

LUSSANA (**Sylvio**), Docteur ès sciences physiques à l'Université de Padoue (Italie).

LUTZ, Constructeur d'instruments d'optique, 65, boulevard Saint-Germain.

LYON (**Gustave**), ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

MACÉ DE LÉPINAY, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

Digitized by Google

MM.

MACH (Dr **E.**), Professeur de Physique à l'Université de Prague (Autriche).

MACQUET (**Auguste**), Ingénieur au corps des Mines, Directeur de l'École provinciale d'Industrie et des Mines du Hainaut, 22, boulevard Dolez, à Mons (Belgique).

MADAMET, Directeur de l'École d'application du Génie maritime, 84, boulevard Saint-Michel.

MAGNE (**P.**), Directeur-Ingénieur du contrôle des Postes et des Télégraphes, 34, avenue de Villiers.

MAICHE, Ingénieur électricien, 282, rue Saint-Jacques.

MAIGRET (Dr), 44, avenue de la République, Grand-Montrouge.

MAINGIE, Docteur ès sciences physiques et mathématiques, 218, avenue de la Reine, à Laeken, Bruxelles (Belgique).

MAISONOBE, Capitaine d'Artillerie, 38, faubourg de France, à Belfort.

MALLARD, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 11, rue de Médicis.

MALLY (Dr **Francis**), 174, boulevard Pereire.

MALOSSE, Professeur à l'École de Médecine d'Alger.

MANEUVRIER, Agrégé de l'Université, Sous-Directeur du Laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.

MANY, Professeur de Physique à l'École des Ponts et Chaussées, à Bucarest (Roumanie).

MARAGE (Dr), Docteur ès Sciences, 68, boulevard Malesherbes.

MARCHIS, Professeur au Lycée de Caen.

MAREY, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert.

MARIA (**Emile**), Professeur à l'École Turgot, 14, rue de Longchamp.

MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.

MARTIN (**Joanny**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 6, rue des Capucins, à Lyon.

MARTINET, Professeur au Lycée Janson de Sailly, 5, rue de l'Amiral Courbet.

MARTINET, Professeur au Lycée du Mans.

MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique, 176, rue de l'Université.

MASSIEU, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.

MASSIN, Ingénieur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

MASSON (**G.**), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

MATHIAS (**Émile**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Toulouse.

MAUMENÉ (**E.**), 91, avenue de Villiers.

MAUPEOU D'ABLEIGES (**de**), Ingénieur de la Marine, Membre du Conseil des travaux, 30, rue Vital (Passy).

MAURAT, Ancien Professeur au Lycée Saint-Louis, à Rochecorbon.

MEAUX (**de**), Chef de Bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, 44, rue Saint-Placide.

MELANDER, Préparateur à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

Digitized by Google

MM.

MÉNIER (**Henri**), 8, rue de Vigny.

MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 21, rue Descartes.

MERGIER, Préparateur des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 66, avenue de Châtillon.

MÉRITENS (**de**), Ingénieur, 44, rue Boursault.

MERLE (**Antoine**), Propriétaire de la maison Brunot-Court, boulevard Victor-Hugo, à Grasse.

MERLIN (**Paul**), Professeur au Lycée, 78, faubourg Vincent, à Châlons-sur-Marne.

MESLIN, Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Montpellier.

MESTRE, ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur, Chef de traction au chemin de fer de l'Est.

MEYER, Directeur de la Compagnie continentale Edison, 8, rue Caumartin.

MEYLAN, Ingénieur, 31, rue de Poissy.

MICULESCU (**Constantin**), Docteur ès sciences, à l'Université de Bucarest (Roumanie).

MILLARD, Docteur en Médecine, à Dinard, et 25, rue Royale.

MINGASSON, Professeur au Lycée d'Orléans.

MISLAWSKY (D^r^), Professeur agrégé de Physiologie à l'Université de Kasan (Russie).

MOLTENI (**A.**), Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

MOLZ, Ingénieur, 149, rue de Rennes.

MONNORY (**Henri**), Professeur au Lycée, 37, rue de l'Est, à Poitiers.

MONOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon.

MONTAUD (**B. de**), Ingénieur civil, 73, rue d'Allemagne.

MONTEFIORE (**Levi**), Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique, 35, rue de la Science, à Bruxelles (Belgique).

MONTEIL (**Silvain**), Juge de Paix à Châteauponsac (Haute-Vienne).

MONTHIERS (**Maurice**), 135, boulevard Malesherbes.

MORANA (**Ignace**), Électricien, 44, rue de Lausanne, à Genève.

MORELLE, Chef des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 11, rue Caumartin, à Lille.

MORELLE, Constructeur-Mécanicien, 39, avenue d'Orléans.

MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 8, avenue de l'Opéra.

MOSER (Dr **James**), Docent à l'Université, 43, Laudongasse, Vienne VIII (Autriche).

MOUCHEZ (l'Amiral), Directeur de l'Observatoire de Paris.

MOUCHOT, Professeur en retraite, 39, rue de Fleury, à Fontainebleau.

MOULIN (**Honoré**), Capitaine d'Artillerie, à Orléans.

MOUTIER, Examinateur de sortie à l'École Polytechnique, à Villers, par Saint-Leu d'Esserent (Oise).

MOUTON, Docteur ès-Sciences, 1, rue de l'Audience, à Fontenay-sous-Bois.

MUIRHEAD (Dr **Alexandre**) F. C. S., 5, Cowley Street, Westminster, S. W. Londres.

Digitized by Google

MM.

MUKHOPADHYAY (**Asutosh**), Membre de la Société de Physique de Londres, 77, Russa Road north, Bhowanipore, à Calcutta (Indes).

NACHET (**A.**), Constructeur d'instruments d'optique, 17, rue Saint-Séverin.

NACHET (**Camille**), Constructeur d'instruments d'optique, 7, rue des Gravilliers.

NAMBA MASSASHI, à l'Université, Dép^t des Sciences, à Tokio (Japon).

NEGREANO (**D.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 4, Strada Pensionatul, Bucarest (Roumanie).

NERVILLE (**de**), Ingénieur des Télégraphes, Directeur du Laboratoire central d'électricité, 116, boulevard Haussmann.

NEUBURGER, Professeur au Lycée, 11, avenue du Vieux-Marché, à Orléans.

NEYRENEUF, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen.

NODON (**Albert**), Ingénieur civil, 20, rue du Midi, à Vincennes.

NODOT, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 3, rue Franoy, à Dijon.

NOÉ (**Charles**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 8, rue Berthollet.

NOGUÉ (**Émile**), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas.

NOTHOMB (**Louis**), Professeur de télégraphie technique à l'École de Guerre, 91, avenue Louise, à Bruxelles.

NOUGARET (**Élie**), Professeur au Lycée, place Plumancy, à Périgueux.

OFFRET, Professeur au Lycée, 9, rue Martin du Nord, à Douai.

OFFRET (**Albert**), Maître de Conférences de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 135, avenue de Saxe, à Lyon.

OGIER (**Jules**), Docteur ès sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 1, quai d'Orsay.

OLIVIER (**Louis**), Docteur ès sciences, Directeur de la *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 34, rue de Provence.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

ONDE, Professeur au Lycée Henri IV, 41, rue Claude-Bernard.

ORDUÑA (**Emilio de**), Ingénieur, Directeur des Télégraphes, 21, rue Gaya, à Madrid (Espagne).

ORLÉANS (Comte **d'**), Colonel d'État-Major en retraite, 9, rue de Villersexel.

OUMOFF (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Université d'Odessa (Russie).

PAILLARD-DUCLÉRÉ (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann.

PAILLOT, Chef des Travaux pratiques à la Faculté des Sciences, 2, rue des Fleurs, à Lille.

PALAZ (**Adrien**), Docteur ès sciences, Professeur à l'Académie de Lausanne (Suisse).

PALMADE, Professeur au Lycée de Nîmes.

PALMADE, Capitaine du Génie, à Lille.

Digitized by Google

MM.

PANZANI (**J.-P.**), Licencié ès Sciences mathématiques et physiques, Directeur de l'École Descartes, 42, boulevard d'Argenson, à Neuilly-sur-Seine.

PARAIRE (l'abbé), Licencié ès Sciences physiques, 129, rue Rannelagh.

PARENTHOU (**Émile**), Ingénieur, 13, rue du Val-de-Grâce.

PARISSE, Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue Fontaine-au-Roi.

PARMENTIER, 21, avenue de la Toison-d'Or, à Bruxelles (Belgique).

PASQUIER (Dr), rue Saint-Nicolas, à Evreux.

PAUCHON (**Ernest**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 191, rue Basse, à Caen.

PAVLIDÈS (**Démosthènes**), Docteur en Médecine, 14, rue Cadet.

PAYN (**John**), Directeur de l'Eastern Telegraph C°, au Caire (Egypte).

PELLAT (**H.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

PELLERIN, Professeur de Physique à l'École de Médecine, 9, quai Richebourg, à Nantes.

PELLIN (**Philibert**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Jules Duboscq, 21, rue de l'Odéon.

PÉRARD (**L.**), Professeur à l'Université, 101, rue St-Esprit, à Liège (Belgique).

PEREZ (**Fernando Ferrari**), Professeur à l'École normale, Tacubaya D. F. à Mexico (Mexique).

PÉRIGNON, 105, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

PERNET (Dr **J.**), à Zurich (Suisse).

PÉROT (**Alfred**), Chargé d'un Cours supplémentaire de Physique, à la Faculté des Sciences, 119, Boulevard de Longchamps, à Marseille.

PERREAU, Agrégé-Préparateur de Physique, au Collège de France.

PÉTROFF, Professeur à l'Institut Technologique, Directeur du Département des chemins de fer au Ministère des voies et communications, à Saint-Pétersbourg (Russie).

PEUCHOT (**E.**), Dessinateur et graveur, 10, rue de Nesles.

PEUCHOT, Ingénieur opticien, 31, quai des Grands-Augustins.

PFAUNDLER (**Léopold**), Professeur à l'Université de Gratz (Autriche).

PHILBERT, Ancien receveur des télégraphes, 32, faubourg de Fougères, à Rennes.

PHILIPPON (**Paul**), Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement de la Sorbonne, 166, boulevard Montparnasse.

PICART (**A.**), Fabricant d'instruments de précision, 20, rue Mayet.

PICOU, Ingénieur des arts et manufactures, 75, avenue de la Grande-Armée.

PILLEUX, 16, rue du Prévôt, à Beauvais.

PILTSCHIKOFF (**Nicolas**), Professeur à l'Université de Kharkoff (Russie).

PINEL (**Charles-Louis**), 26, rue Méridienne, à Rouen.

PIONCHON, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro, 50, rua do Marquez d'Abrantes.

PLOIX (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 1, quai Malaquais.

Digitized by Google

MM.

POINCARÉ (**A.**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

POINCARÉ (**Lucien**), Professeur au Lycée de Marseille.

POINTELIN, Professeur de Physique au Lycée d'Amiens.

POIRÉ, Professeur au Lycée Condorcet, 95, boulevard Malesherbes.

POLLARD (**Jules**), Ingénieur de la Marine, 28, rue Bassano.

POMEY (**J.-B.**), Ingénieur des Télégraphes, à Tours.

PONSELLE (**George**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 114, avenue de Wagram.

PONSOT, Professeur au Lycée Condorcet, 149, rue de Rennes.

POPP (**Victor**), Administrateur-directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 54, rue Étienne-Marcel.

PÖPPER (**Josef**), Ancien élève de l'École Polytechnique de Vienne, Ingénieur constructeur de machines, VII, Westbahnstrass, 29, à Vienne (Autriche).

POTIER, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

POUSSIN (**Alexandre**), Ingénieur, au Château de La Houblonnière, par Lisieux.

PRÉAUBERT (**E.**), Professeur au Lycée, 13, rue Proust, à Angers.

PRÉOBRAJENSKI (**Pierre**), au Musée Polytechnique, à Moscou (Russie).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.

PUPIN, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

PUYFONTAINE (Comte **de**), 34, avenue Friedland.

QUESNEVILLE (D^r^), Professeur agrégé à l'École supérieure de Pharmacie, 1, rue Cabanis.

RADIGUET (**fils**), Opticien constructeur, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire.

RAFFARD, Ingénieur civil, 5, avenue d'Orléans.

RAMEAU (**l'abbé**), Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers.

RANQUE (**Paul**), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion.

RAU (**Louis**), Administrateur délégué de la Compagnie Continentale Edison, 7, rue Montchanin.

RAVEAU, Attaché au Laboratoire d'enseignement (Physique) de la Faculté des Sciences, 34, rue Lacépède.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RAYMOND (**Eugène**), Ingénieur de la Marine, à Lorient.

RÉBOUIS, Professeur au Collège Stanislas, 23, rue Claude-Bernard.

RECHNIEWSKI, Ingénieur, 108, rue Mozart.

RECOURA (**Albert**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Lyon.

RÉGNARD (Dr **P.**), Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie de la Faculté des Sciences, 224, boulevard Saint-Germain.

Digitized by Google

MM.

REISET, Membre de l'Institut, 2, rue de Vigny.

RENARD (**Charles**), Chef de bataillon du Génie, Directeur de l'Établissement central d'Aérostation militaire, 7, avenue de Trivaux, à Chalais-Meudon.

RENAULT (**A.**), Licencié ès Sciences physiques, 25, rue Brezin.

REY (**Casimir**), Professeur de Mathématiques à l'École du Génie, 25, boulevard de la Reine, à Versailles.

RIBAIL (**Xavier**), Ingénieur de la traction au Chemin de fer de l'Ouest, 6, rue de Constantinople.

RIBAN (**Joseph**), Directeur adjoint du Laboratoire d'enseignement chimique et des Hautes Études, 85, rue d'Assas.

RIBIÈRE (**Charles**), Ingénieur des Ponts et Chaussées attaché au service des Phares, 13, rue Mignard.

RICHARD, Ingénieur-Constructeur, 8, impasse Fessart (Belleville).

RICHET (**Th.**), Professeur à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université.

RIGOLLOT, Chef des Travaux pratiques à la Faculté des Sciences de Lyon.

RIGOUT (**A.**), Docteur en Médecine, 10, rue Gay-Lussac.

RIVIÈRE (**Charles**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 81, boul. Saint-Michel.

ROBIN (**P.**), Directeur de l'orphelinat Prévost, appartenant au département de la Seine, à Cempuis (Oise).

ROBLES (**José de**), Ingénieur agronome, calle del General Castagnos, 7, à Madrid (Espagne).

RODDE (**Ferd.**), 7, rue du Delta.

RODDE (**Léon**), 107, rua do Ouvidor, à Rio-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (**Emmanuel**), 8, avenue Hoche.

ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay.

ROGER, Chef d'Institution honoraire, 161, rue Saint-Jacques.

ROIG Y TORRES (**Raphaël**), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

ROMILLY (**de**), 25, avenue Montaigne.

ROMILLY (**Paul de**), Ingénieur en Chef des Mines, 7, rue Balzac.

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'usine Poirier, 114, route de Saint-Leu, à Enghien.

ROUSSEAU, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles.

ROUSSEAU (**Paul**), Fabricant de produits chimiques, 17, rue Soufflot.

ROUSSELET, Censeur du Lycée de Bourg.

ROUSSELOT (l'abbé), 28, rue de l'Église, à Neuilly.

ROUX (**Gaston**), Ingénieur Électricien, 51, rue de Dunkerque.

ROUX, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à l'École Sainte-Geneviève, 114, boulevard Montparnasse.

ROZIER (**F.**), Docteur en Médecine, 10, rue du Petit-Pont.

SAÏD (**Dj.**), Ingénieur, 8, Istravoz (Beylirbey), à Constantinople (Turquie).

Digitized by Google

MM.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Émile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 9, rue Brémontier.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri), Ingénieur des Manufactures de l'État, 3, place Péreire.

SALADIN, Ingénieur civil des Mines, 57, avenue Victor-Hugo.

SALCHER (Dr **P.**), Professeur à l'Académie Impériale de Fiume (Autriche-Hongrie).

SALET, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boulevard Saint-Germain.

SAMBOURG (Ch.), Inspecteur Ingénieur des Lignes télégraphiques, 6, rue de la Porte-Maillot.

SANDOZ (Albert), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 11, rue Rataud.

SARASIN (E.), Docteur ès Sciences, à Genève (Suisse).

SARCIA (Jules), Ingénieur de la Société anonyme pour le Travail électrique des Métaux, 14, rue Gérando.

SARRAN, Professeur au Lycée, place Saint-Didier, à Poitiers.

SARRAU, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres, professeur de Mécanique à l'École Polytechnique, 9 *bis*, avenue Daumesnil, à Saint-Mandé.

SAUSSE (A.), Préparateur à la Faculté des Sciences de Caen.

SAUTTER (Gaston), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SCHILLER (Nicolas), Professeur de Physique à l'Université de Kieff (Russie).

SCHNEIDER (Théodore), Professeur de Chimie à l'École Monge, 58, rue Madame.

SCHODDUIJN (l'abbé), Professeur de Sciences à l'Institution Saint-Joseph, à Gravelines.

SCHWEDOFF, Doyen de la Faculté des Sciences, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, directeur de la maison Bréguet, 16, rue François Ier.

SEBERT, Général d'Artillerie de Marine, 13, rue de la Cerisaie.

SÉGUIN, ancien Recteur, 1, rue Ballu.

SEIGNETTE (Adrien), Professeur au Lycée Condorcet, 21, rue Tronchet.

SELIGMANN-LUI, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

SENTIS, Professeur au Lycée de Grenoble.

SERPOLLET, Ingénieur, 27, rue des Cloys.

SERRÉ-GUINO, Examinateur à l'École de Saint-Cyr, 114, rue du Bac.

SERRIN (V.), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.

SIGALAS (Dr **C.**), Chef des Travaux, chargé d'un Cours complémentaire de Physique à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 4, rue Théodore-Ducos, à Bordeaux.

SIMOUTRE (l'abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

SIRE (G.), Correspondant de l'Institut, à Besançon-Mouillière.

Digitized by Google

MM.

SIRVENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 73, rue de Rennes.

SLOUGUINOFF, Directeur de l'Institut de Physique de l'Université impériale de Kasan (Russie).

SOKOLOFF (**Alexis**), Professeur de Physique à l'Académie de Moscou (Russie).

SOMZÉE (**Léon**), Ingénieur honoraire des Mines, 117, rue Royale, à Bruxelles (Belgique).

STAPFER (**Daniel**), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille.

STŒCHEGLAIEF (**Wladimir**), Professeur de Physique à la Haute École technique de Moscou (Russie).

STEPANOFF, Professeur de Physique, à Cronstadt (Russie).

STOKES (**G.-G.**), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge, Lensfield Cottage, Cambridge (Angleterre).

STOLETOW (**Al.**), Professeur à l'Université de Moscou (Russie).

STRAUSS, Capitaine du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

STREET (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 17, rue Treilhard.

TACCHINI, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome.

TAILLEFER (**André**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 81, boulevard Saint-Michel.

TEISSERENC DE BORT (**Léon**), Chef du Service de Météorologie générale au Bureau central météorologique, Secrétaire général de la Société Météorologique de France, 82, avenue Marceau.

TEISSIER, Professeur au Lycée, 5, rue de Lille, à Nice.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

THENARD (le **baron Arnould**), chimiste agriculteur, 6, place Saint-Sulpice.

THIERRY (Dr **Maurice de**), Préparateur de Chimie à la Faculté de Médecine, 63, rue de l'Université.

THIESEN (Dr **Max.**), à Charlottemburg, Berlinerstrasse, 22, à Berlin.

THIMONT, Professeur au Collège Stanislas, 19, rue Littré.

THOMPSON (**Silvanus-P.**), Professeur à Finsbury Technical College, Morland Chrislett Road, west, Londres, N. W. (Angleterre).

THOMSON (Sir **William**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).

THOUVENEL, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 100, rue de Rennes.

THOUVENOT (**Clovis**), Ingegnere delle officine e fonderie Mazzocchi, Porta Cavalleggeri, à Rome (Italie).

TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).

TISSANDIER (**Gaston**), Directeur du Journal « *La Nature* », 50, rue de Châteaudun.

Digitized by Google

MM.

TISSIER, Professeur au Lycée de Reims.

TISSOT, Enseigne de Vaisseau, chargé d'un Cours de Physique à l'École navale, 107, rue de Siam, à Brest.

TOMBECK, Licencié ès-Sciences, 27, rue d'Ulm.

TONARELLI, Censeur du Lycée de Valenciennes.

TOUANNE (**de la**), Ingénieur des télégraphes, 13, rue Soufflot.

TRIPIER (le Dr), 41, rue Cambon.

TROTIN, Ingénieur des télégraphes, 38, quai Henri IV.

TROUVÉ (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.

TULEU (**Charles**), Ingénieur, 58, rue Hauteville.

UCHARD (**A.**), Capitaine d'artillerie, 2bis, rue de Provence, à Versailles.

UNIVERSITÉ DE SYDNEY (**New South Wales**).

VACHER (**Paul**), 45, rue de Sèvres.

VAGNIEZ-BENONI, Négociant, 14, rue Lemerchier, Amiens.

VAGNIEZ (**Ed.**), 14, rue Lemerchier, à Amiens.

VAN AUBEL (Dr **Edmond**), chargé de Cours à l'Université, 7, rue Laurent-Delvaux, à Gand (Belgique).

VANDENBROUCQUE, Professeur à l'Institution libre, à Marcq en Barœul (Nord).

VAN DER MENSBRUGGHE (**Gustave-Léonard**), Professeur de Physique mathématique à l'Université, 80, rue Coupure, à Gand (Belgique).

VAN DER VLIETH, Professeur de Physique à l'Université de St-Pétersbourg.

VANDEVYVER, Docteur ès Sciences et Répétiteur à l'Université, 11, boulevard de la Citadelle, à Gand (Belgique).

VARACHE (**A.**), Professeur au Collège, 28, rue de la Rotonde, à Béziers.

VARENNE (**de**), Préparateur du Laboratoire de Physiologie générale au Muséum, 7, rue de Médicis.

VASCHY, Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 68, avenue Bosquet.

VASSEUR (**Alfred**), 4, petite rue de Barette, à Amiens.

VAUTIER (**Théodore**), Chargé des conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

VAYSSIÈRES (**Louis**), Licencié ès Sciences à la Faculté des Sciences, 12, rue Saint-Pierre, à Montpellier.

VERDIN, Constructeur d'instruments pour la Physiologie et la Médecine, 7, rue Linné.

VERRIER (**Gabriel**), Ingénieur électricien, Ancien élève diplômé de l'École centrale et de l'École supérieure de Télégraphie, 13, boulevard Saint-Germain.

VIDAL (**Léon**), 7, rue Scheffer.

VIEILLE, Ingénieur des Poudres et Salpêtres, Répétiteur à l'École Polytechnique, 19, quai Bourbon.

Digitized by Google

MM.

VILLARS, Professeur au Lycée de Rouen.

VILLIERS (**Antoine**), Agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

VINCENS, Licencié ès Sciences, 59, rue d'Amsterdam.

VIOLET (**Léon**), 20, rue Delambre.

VIOLLE, Maître de conférences à l'École Normale, 89, boulevard Saint-Michel.

VION (**René**), Conservateur de la Bibliothèque, 16, place au Feurre, à Amiens.

VLASTO (**Ernest**), Ingénieur, Administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques, 44, rue des Écoles.

VOIGT, Professeur honoraire du Lycée de Lyon, à Géanges, par Saint-Loup de la Salle (Saône-et-Loire).

VOISENAT (**Jules**), Ingénieur des télégraphes, 16, rue Berlier, à Dijon.

WAHA (**de**), Professeur de Physique à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WALLON (**E.**), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 65, rue de Prony.

WEISS (**G.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 119, boulevard Saint-Germain.

WENDT (**Gustave**), Constructeur d'instruments de Physique (maison Hempel), 55, quai des Grands-Augustins.

WERLEIN (**Ivan**), Constructeur d'instruments d'Optique, 71, rue du Cardinal-Lemoine.

WEST (**Émile**), Ingénieur-Chimiste au Chemin de fer de l'Ouest, 13, rue des Saints-Pères.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère.

WIEDEMANN (**Eilhard**), Professeur de Physique, à Erlangen (Allemagne).

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, Professeur aux Facultés catholiques, 29, rue d'Antin, à Lille.

WOLF, Membre de l'Institut, Astronome à l'Observatoire de Paris, 1, rue des Feuillantines.

WOULFF, Agrégé de l'Université de Varsovie (Russie).

WUILLEUMIER (**H.**), Docteur ès Sciences, 98, rue d'Assas.

WUNSCHENDORFF, Ingénieur chargé de la construction des lignes souterraines, au Ministère des Postes et des Télégraphes, 92, rue de Rennes.

WYROUBOFF, Docteur ès Sciences, 141, rue de Rennes.

XAMBEU, ancien Professeur, 41, Grande-Rue, à Saintes.

YVON, Pharmacien, 7, rue de La Feuillade.

ZAHM (**J.-A.**), Professeur de Physique à l'Université à Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

Digitized by Google

MM.

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, Chacabuco, 57, à Santiago.

ZILOFF, Professeur de Physique à l'Université de Varsovie (Russie).

Mai 1892.

Prière d'adresser au Secrétaire général les rectifications et changements d'adresse.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

SÉANCE DU 16 JANVIER 1891 5

Ch.-Ed. Guillaume. — Sur la sensibilité des thermomètres 6

Rapport de la Commission des Comptes sur l'exercice de 1890 9

Mallard. — Allocution prononcée dans la Séance du 16 janvier 1891 13

Ch.-Ed. Guillaume. — Le problème de la colonne émergente 17

D. Gernez. — Recherches sur l'application de la mesure du pouvoir rotatoire à la détermination de combinaisons formées par les solutions aqueuses d'acide malique avec les molybdates neutres de lithine, de magnésie, de soude et de potasse, acide de soude et les tungstates neutres alcalins 21

SÉANCE DU 6 FÉVRIER 1891 32

A. Collot. — Appareil de projection lumineuse applicable aux balances de précision, à l'effet d'obtenir des pesées rapides 35

H. Le Chatelier. — Sur les transformations moléculaires des métaux et leurs conductibilités électriques 36

A. Cornu. — Sur une expérience récente, déterminant la direction de la vibration dans la lumière polarisée 41

SÉANCE DU 20 FÉVRIER 1891 44

Lippmann. — Sur la photographie des couleurs 45

Hospitalier. — Les compteurs d'énergie électrique 46

SÉANCE DU 6 MARS 1891 .....

Arsonval (d'). — Détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur. 51

Arsonval (d'). — Régulateur de vitesse 53

Ch.-Ed. Guillaume. — Introduction à l'étude des procédés électriques de mesure des températures 54

Al. Berget. — Modèle portatif d'électromètre capillaire 56

SÉANCE DU 20 MARS 1891 59

L. Favé. — Marégraphe plongeur 62

Vieille. — Sur la compressibilité des fluides dans les phénomènes explosifs 73

Digitized by Google

Pages.

EXPOSITION DES MARDI 31 MARS ET MERCREDI 1er AVRIL 1891.... 85

Discours prononcés le jeudi 2 avril 1891, à l'occasion du grand manomètre, à la tour Eiffel :

Discours de M. G. Eiffel..... 91

Discours de M. Cailletet..... 93

Discours de M. Friedel, Président de la Société française de Physique. 94

L. Cailletet. — Description du manomètre à air libre de 300m établi à la tour Eiffel..... 95

SÉANCE DU 3 AVRIL 1891..... 99

E.-H. Amagat. — Recherches sur l'élasticité des solides et la compressibilité du mercure..... 102

R. Blondlot. — Détermination de la constante diélectrique du verre à l'aide d'oscillations très rapides..... 114

Boudréaux. — Appareils d'électricité statique..... 122

SÉANCE DU 17 AVRIL 1891..... 129

Defforges (Ct). — Nouvel appareil de base bimétallique construit par MM. Brunner frères..... 130

Ch. Henry. — Recherches nouvelles d'olfactométrie..... 133

E. Branly. — Variations de conductibilité des isolants sous diverses influences électriques..... 135

SÉANCE DU 1er MAI 1891..... 142

Cailletet. — Cryogène, appareil destiné à obtenir de très basses températures par la détente de l'acide carbonique liquide..... 142

H. Pellat. — Détermination du rapport entre l'unité électromagnétique et l'unité électrostatique d'électricité..... 145

Al. Berget. — Sur l'appareil de M. I.-C. Rohn, servant au tracé des courbes de Lissajous..... 156

SÉANCE DU 15 MAI 1891..... 158

E. Hospitalier. — Production de fantômes électrostatiques..... 160

Arsonval (d'). — Emploi de l'acide carbonique liquéfié pour la filtration et la stérilisation des liquides organiques..... 161

Th. Moureaux. — Sur une anomalie magnétique observée dans le bassin de Paris..... 163

SÉANCE DU 5 JUIN 1891..... 168

Leray (l'abbé). — Confirmation de la théorie cinétique des gaz à l'aide de plusieurs appareils analogues au radiomètre..... 168

G. Weiss. — L'ombre pupillaire..... 169

Digitized by Google

Pages.

Ph. Pellin. — Appareil oxy-éthérique de M. Mac Intosh pour projection 171
Cailletet et Colardeau. — Recherches sur la pression de la vapeur d'eau saturante jusqu'au point critique et sur la détermination de ce point critique 172

SÉANCE DU 19 JUIN 1891 179

V. Serrin. — Balance de précision à pesées rapides 179
Th. Schwedoff. — Appareil pour vérifier les théories des cyclones... 180
G. Weiss. — Evaluation de l'excitation électrique 181
Arsonval (d'). — Relations entre les qualités physiques de l'excitant électrique et ses effets physiologiques 182

SÉANCE DU 3 JUILLET 1891 184

Hutin et Leblanc. — Moteur à courants alternatifs 184
E. Branly. — Déperdition de l'électricité par la lumière... 185
Th. Schwedoff. — Sur la distribution dans l'espace de l'énergie d'une masse en mouvement 187

SÉANCE DU 17 JUILLET 1891 203

Massin. — Mesures de capacité, de self-induction et d'induction mutuelle sur les lignes télégraphiques 204
E. Hospitalier. — Les moteurs à courants alternatifs. État actuel de la question 204

SÉANCE DU 6 NOVEMBRE 1891 210

H. Dufet. — Mesures comparatives d'indices par le prisme et la réflexion totale 212
A. Leduc. — Sur la densité des gaz oxygène, azote, hydrogène, et la composition de l'air atmosphérique... 226

SÉANCE DU 20 NOVEMBRE 1891 237

Ed. Bouty. — Études des propriétés diélectriques du mica 242
R. Blondlot. — Détermination expérimentale de la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques 259

SÉANCE DU 4 DÉCEMBRE 1891 272

Wilh. Schmidt. — Chronographe pouvant prendre la vitesse des projectiles marquant le $\frac{1}{10000}$ de seconde 272
Blondel. — Recherches sur l'arc à courants alternatifs 273
Joubert. — Remarques sur la Communication de M. Blondel 274

Digitized by Google

Pages.

SÉANCE DU 18 DÉCEMBRE 1891 275

H. Becquerel. — Sur les lois de l'intensité de la lumière émise par les corps phosphorescents 277

Al. Berget. — Méthode d'inscription optique pour déterminer l'accélération de la pesanteur 284

LISTE DES OUVRAGES REÇUS PENDANT L'ANNÉE 1891 289

LISTE DES MEMBRES 301

18336 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS ET FILS, quai des Grands-Augustins 55.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google